



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**DOCTORADO EN CIENCIAS AGRONÓMICAS
RED DE UNIVERSIDADES DEL NOROESTE
ARGENTINO**

**ADECUACIÓN GENOTIPO – AMBIENTE DEL NOGAL
EUROPEO Y DEL PECAN EN LA REGIONES
NOGALERAS ACTUALES Y POTENCIALES DE
CATAMARCA**

Eber Alexander Delgado

Tesis de Doctor en Ciencias Agronómicas

Esta tesis fue realizada mediante la concesión de una beca doctoral cofinanciada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica (CONICET), y por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).



**Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnica**



**Instituto Nacional de Tecnología
Agropecuaria**

Director de beca: MSc. Ing. Agr. Carabajal Dante Egardo. Estación Experimental Agropecuaria Catamarca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Tecnología Agropecuaria (INTA).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**DOCTORADO EN CIENCIAS AGRONÓMICAS RED DE UNIVERSIDADES
DEL NOROESTE ARGENTINO**



**ADECUACIÓN GENOTIPO – AMBIENTE DEL NOGAL EUROPEO Y DEL
PECAN EN LA REGIONES NOGALERAS ACTUALES Y POTENCIALES DE
CATAMARCA**

Eber Alexander Delgado

COMISIÓN ASESORA DE TESIS

Director: Dr. Ing. Agr. Gariglio Norberto F.
Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina

Co-director: Dra. Ing. Agr. Flores Patricia C.
Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Rosario, Santa fe, Argentina

Consejero Asesor: Dra. Ing. Agr. Neus Aletà
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (I.R.T.A.), Barcelona, Spain

MSc. Ing. Agr. Carabajal Dante Egardo
Estación Experimental Agropecuaria Catamarca-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

TRIBUNAL EXAMINADOR DE TESIS

Dr. Ing. Agr. Trentacoste Eduardo Rafael
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA La Consulta, Mendoza, Argentina

Dra. Ing. Agr. Ochoa Maria Judith
Facultad de Agronomía y Agroindustrias- Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

Dra. Ing. Agr. Alayón Luaces Paula
Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina

Fecha de defensa oral de la tesis: 28 de julio de 2023

Agradecimientos

Al Dr. Norberto Gariglio, director de esta tesis, por confiar, durante estos 6 años, en mi capacidad para realizar este trabajo. Por sus enseñanzas y consejos. Y en este último tramo de la tesis, por su paciencia y acompañamiento.

A la Dra. Patricia Flores, codirectora de esta tesis. Por sus consejos. Por estar siempre dispuesta a ayudar en cuanto fuera posible.

A la Dra. Neus Aletà, consejera asesora de esta tesis. Por su disponibilidad y asistencia, sus consejos y comentarios para el desarrollo y concreción de esta tesis.

Al Mg. Sc. Dante Carabajal, director de beca, por su intensa participación, quien compartió experiencias, conocimientos y por su respaldo constante para el logro de este objetivo. Y, fundamentalmente, porque al final del camino encontré un amigo extraordinario en esta etapa de mi vida. Gracias por creer en mí.

Al Mg. Sc. Juan Colica, por sus gestiones para lograr el objetivo de concretar la tesis. Además, por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo. Muchas gracias.

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), por la concesión de la beca. Gracias al personal de estas instituciones.

A las autoridades y compañeros de la Estación Experimental Agropecuaria Catamarca INTA por el permanente apoyo y estímulo para la concreción de esta etapa.

A las autoridades de la Universidad Nacional de Catamarca, su Rector, el Ing. Agr. Oscar Arellano y el Secretario de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mg. Sc. Assan Marcelo por su permanente apoyo y estímulo para la concreción de esta etapa.

Fue fundamental para llegar a mejores conclusiones el soporte estadístico que dio la Cátedra de Estadística de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Catamarca a través del Profesor Ing. Agr. Sebastián Bustos.

A los Señores, Javier Morales y Sergio Pacheco en el caso del nogal y a Mario Coronel, Fermín Hoyos y al Ing. Agr. Juan Carlos Suarez, en el caso del pecan, por permitirme trabajar en sus fincas. Además de dejarme planos, darme información y colaborar en trabajos de campo.

A Juan Pablo Passini del Vivero Santa Maria, por facilitarnos las plantas pecan y al señor Florencia Morales por facilitarnos las plantas de nogal. También al Ing. Agr. Maximiliano Zamboni por facilitarnos la cámara de frío. A las empresas “3 Quebrachos” y “Campo Integral S.A”, por facilitarnos parte del material vegetal para llevar a cabo este estudio.

Y por supuesto, a mi mujer Yesica y a mi hijo Nahum. Ellos son los verdaderos artífices de los logros obtenidos.

Muchas gracias por TODO.

Dedico esta Tesis a Yesica, mi mujer, por su apoyo incondicional en cada desafío que emprendo. Además, por su acompañamiento con amor junto a nuestro hijo Nahum, quien le da sentido a mi vida.

Prefacio

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ciencias Agronómicas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Catamarca y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. Los trabajos recogidos en la presente memoria han sido realizados en los laboratorios e instalaciones de la Estación Experimental Agropecuaria Sumalao del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria durante el período comprendido entre el 22 de mayo de 2017 y 23 de diciembre de 2022, bajo la dirección de la Comisión de Supervisión conformado por el Dr. Ing. Agr. Gariglio Norberto F., Dra. Ing. Agr. Flores Patricia, Dra. Ing. Agr. Neus Aletà y el MSc. Ing. Agr. Carabajal Dante E.

Organización de la tesis

La presente tesis fue organizada en 5 capítulos que describo a continuación:

Cuenta con una introducción general que pretende dejar planteados conceptos básicos de la temática (Capítulo 1). Determinación de los requerimientos térmicos en dos cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') y tres de pecan ('Stuart', 'Western' y 'Pawnee') para superar la dormición (Capítulo 2). Progresión natural de la dormición y los requerimientos de frío invernal y de calor en cultivares de nogal europeo y pecan bajo condiciones de campo (Capítulo 3). Evaluación de la disponibilidad de frío invernal de las zonas productoras de nogal europeo y pecan de la provincia de Catamarca, Argentina (Capítulo 4). Finalmente se presenta una discusión general, las últimas consideraciones, las principales contribuciones del estudio y las implicancias para futuras investigaciones (Capítulo 5).

Resumen

El nogal europeo (*Juglans regia* L.) y el pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] son dos especies de frutos secos de gran importancia en Argentina. El cultivo del nogal europeo, constituye una de las actividades frutícolas de mayor importancia para la provincia de Catamarca, con una superficie implantada de 4.063 ha, representando el 25,4 % del total nacional. Así mismo, el cultivo de pecan es otro fruto seco, de expansión más reciente, de gran relevancia para Catamarca, que se posicionó como la segunda provincia de Argentina en superficie implantada con 460 ha, representando el 15 % a nivel nacional. El objetivo general de esta tesis fue contribuir al desarrollo de los cultivos de frutos secos en las regiones productoras actuales y potenciales de la provincia de Catamarca, Argentina, mediante un mejor conocimiento de la demanda térmica (frío y calor) de los cultivares de nogal europeo y de pecan, y de la oferta ambiental de frío invernal en sitios de referencia de la provincia. Para ello, se determinaron los requerimientos de frío (RF) y de calor (RC) en varetas de un año (VDA) y en plantas en macetas (PEM) para superar el estado de dormición, evaluándose su variabilidad según: nivel de acumulación de frío, tipo de yema vegetativa (terminal o lateral), por cultivar, y año. Se trabajó con dos cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') y con tres de pecan ('Stuart', 'Pawnee' y 'Western') a las cuales se le aplicaron diferentes tratamientos de acumulación de frío artificial tanto en VDA como en PEM. Posteriormente el material vegetal fue forzado a brotar bajo condiciones controladas. Se estableció una relación inversa entre el efecto de la acumulación de frío y calor, así a mayores exposiciones a frío conducen a una reducción de los RC para brotar. Las yemas terminales y laterales tuvieron el mismo requerimiento de frío, pero difirieron en el requerimiento de calor, siendo mayor en las yemas laterales que las yemas terminales. Los ensayos con frío artificial indicaron una ligera sobreestimación del RF de las PEM respecto de las determinaciones en las VDA. Se alcanzó un porcentaje de brotación cercano al 100 %, tanto de las yemas terminales como laterales, en los tratamientos con acumulación de frío superior a las 800 unidades de frío Utah modificado (UFUM) u horas de frío (HF), y la capacidad para brotar de las yemas no decayó con la acumulación excesiva de

frío como sucede en otras especies templadas de hoja caduca. En las VDA de las cultivares de nogal europeo no existieron grandes diferencias según el criterio tomado para determinar el final de la endodormición: tiempo medio de brotación (TMB) o porcentaje de VDA brotadas. En cambio, en los cultivares de pecan las diferencias fueron marcadas ya que mostraron altos porcentajes de brotación con baja acumulación de frío, aunque el TMB siguió respondiendo a la acumulación de frío. De este modo, el pecan no manifiesta los síntomas de falta de frío tanto en los ensayos de laboratorio (método biológico) como en el campo. Esta característica le permitiría al pecan un buen comportamiento agronómico en un amplio rango de acumulación de frío, lo cual no ocurre con el nogal europeo (Capítulo 2). Además, se estudió la profundidad y evolución natural de la dormición de VDA extraídas de plantas adultas en distintos momentos del invierno bajo las condiciones climáticas de las regiones productoras de nueces de la provincia de Catamarca. Cuanto más cálida es la zona, más temprana fue la inducción a la dormición, y más profunda. Además, dentro de todas las áreas estudiadas, la liberación de la endodormición fue más temprana en las áreas más cálidas que en las más frías. Los requerimientos de frío de las VDA expuestas a la acumulación natural de frío en condiciones de campo fueron ligeramente menores respecto a los calculados en las condiciones de acumulación de frío artificial en cámara. Los resultados obtenidos aplicando los modelos propuestos para la simulación de la progresión de la dormición, aunque preliminares, constituyen un avance en su ajuste para evaluar la dinámica del TMB de cada uno de los cultivares evaluados (Capítulo 3). Por último, se caracterizó la oferta de frío invernal para cuatro zonas con diferente potencial productivo para frutos secos en la provincia de Catamarca. Para ello, se determinaron la cantidad y calidad de frío para cuatro sitios de la provincia de Catamarca, a saber, “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle”. Además, se calculó la disponibilidad de frío mediante la aplicación de modelos de estimación de horas de frío. Mediante el modelo de regresión logística se determinó la probabilidad que posee cada zona de satisfacer la demanda de frío de los cultivares de nogal europeo y pecan evaluados. El modelo de Sánchez Capuchino fue el que mejor estimó las horas de frío en todos los sitios de evaluación comparando con las HF

reales de cada zona. Por otra parte, en los sitios de mayor altitud la variabilidad entre años fue menor, y la disponibilidad de frío resultó semejante al comparar los modelos de HF y UFUM. Mientras que, para los sitios más cálidos, de menor altitud, la disponibilidad de frío y el coeficiente de variación entre años fueron mayor, y presentó diferencias entre los modelos de HF y UFUM. La duración del enfriamiento fue el factor más importante y decisivo para la producción comercial de cultivares de nogal europeo y pecan (Capítulo 4). Por lo tanto, los cultivares evaluados permitirían el cultivo de nogal europeo y pecan desde las 300 y 500 UFUM (HF), respectivamente, comparado con los cultivares tradicionales cuyos requerimientos están por encima de las 700 HF. Se pone de manifiesto que los cultivares 'Western', 'Pawnee' y 'Trompito INTA' parecen ser más adecuados para cultivar en sitios con clima de invierno más cálidos, como lo son las localidades de "Las Tejas" y "Colonia del Valle". Alternativamente, 'Stuart' y 'Chandler' podrían ser apropiados para cultivar en regiones más frías y especialmente con riesgos de heladas tardías, como lo son las localidades de "Rosario de Colana" y "Amadores". Esta investigación proporciona las bases ecofisiológicas para un mejor entendimiento de la dormición, y que permitirán adecuar la elección de material vegetal para las condiciones térmicas de cada sitio específico y de la provincia de Catamarca, Argentina, en particular.

Palabras clave: Dormición, Nogal, Pecan, Requerimientos de frío, Requerimientos de calor, Tiempo medio de brotación, Método biológico.

Abstract

European walnut (*Juglans regia* L.) and pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] are two very important nut species in Argentina. European walnut cultivation is one of the most important fruit growing activities in the province of Catamarca, with a planted area of 4.063 ha, representing 25,4 % of the national total. Likewise, the cultivation of pecans is another nut, of more recent expansion, of great relevance for Catamarca, which positioned itself as the second province of Argentina in implanted area with 460 ha, representing 15% nationwide. The general objective of this thesis was to contribute to the development of nut crops in the current and potential producing regions of Catamarca province, Argentina, through a better knowledge of the thermal demand (cold and heat) of european walnut and pecan cultivars, and of the environmental supply of winter cold in reference sites of the province. For this purpose, the cold (CR) and heat (HR) requirements were determined in one-year-old branches (OYB) and potted plants (PP) to overcome dormancy, evaluating their variability according to the level of cold accumulation, type of vegetative bud (terminal or lateral), by cultivar, and year. Two european walnut cultivars ('Chandler' and 'Trompito INTA') and three pecan cultivars ('Stuart', 'Pawnee' and 'Western') were subjected to different artificial cold accumulation treatments in both OYB and PP. The plant material was then forced to sprout under controlled conditions. An inverse relationship was established between the effect of cold and heat accumulation, with higher cold exposures leading to a reduction in the HR to sprout. Terminal and lateral buds had the same cold requirement, but differed in heat requirement, being higher in lateral buds than terminal buds. Artificial chilling trials indicated a slight overestimation of the CR of PP with respect to OYB determinations. Sprouting rates close to 100 % of both terminal and lateral buds were achieved in treatments with cold accumulation greater than 800 modified Utah cold units (MUCU) or chilling hours (CH), and bud sprouting capacity did not decline with excessive cold accumulation as in other temperate deciduous species. In the OYB of european walnut cultivars, there were no major differences according to the criterion taken to determine the end of endodormancy (mean time to budbreak (MTB) or percentage of OYB budded). In contrast, in pecan cultivars, the differences were marked as

they showed high sprouting percentages with low cold accumulation, although the MTB remained responsive to cold accumulation. Thus, pecan does not manifest cold failure symptoms in both biological and field trials. This characteristic would allow pecan to perform well agronomically over a wide range of cold accumulation, which is not the case with european walnut (Chapter 2). In addition, the depth and natural evolution of dormancy of OYB extracted from adult plants at different times of the winter were studied under the climatic conditions of the walnut-producing regions of Catamarca province. The warmer the area, the earlier and deeper the dormancy induction. In addition, within all areas studied, endodormancy release was earlier in warmer areas than in colder areas. The cold requirements of OYB exposed to natural cold accumulation under field conditions were slightly lower than those calculated under artificial cold accumulation conditions in a chamber. The results obtained by applying the proposed models for the simulation of dormancy progression, although preliminary, constitute an advance in their adjustment to evaluate the MTB dynamics of each of the cultivars evaluated (Chapter 3). Finally, the climatic profile was defined with special reference to the characteristics of winter cold for four zones with different nut production potential in the province of Catamarca. For this purpose, the quantity and quality of cold were determined for four sites in the province of Catamarca, namely, "Rosario de Colana", "Amadores", "Las Tejas" and "Colonia del Valle". In addition, chilling availability was calculated by applying chilling hour estimation models. The logistic regression model was used to determine the probability of each zone satisfying the chilling demand of the european walnut and pecan cultivars evaluated. The Sanchez Capuchino model was the best estimator of chilling hours at all evaluation sites compared to the actual CH of each zone. On the other hand, in the higher altitude sites, the variability between years was lower, and the cold availability was similar when comparing the CH and MUCU models. Whereas, for the warmer, lower altitude sites, chilling availability and the coefficient of variation between years were higher, and showed differences between the CH and MUCU models. The duration of chilling was the most important and decisive factor for the commercial production of european walnut and pecan cultivars (Chapter 4). Therefore, the cultivars evaluated would allow the cultivation of european walnut

and pecan from 300 and 500 MUCU (CH), respectively, compared to the traditional cultivars whose requirements are above 700 CH. It is evident that the cultivars 'Western', 'Pawnee' and 'Trompito INTA' appear to be more suitable for growing on sites with warmer winter climates, such as the "Las Tejas" and "Colonia del Valle" locations. Alternatively, 'Stuart' and 'Chandler' may be suitable for growing in colder regions and especially with late frost risks, such as the locations of "Rosario de Colana" and "Amadores". This research provides the ecophysiological basis for a better understanding of dormancy, which will allow us to adapt the choice of plant material to the thermal conditions of each specific site and the province of Catamarca, Argentina, in particular.

Keywords: Dormancy, Walnut, Pecan, Chilling requirements, Heat requirements, Mean time to budbreak, Biological test.

INDICE TEMATICO

Capítulo 1	3
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
1.1. NOGAL EUROPEO	7
1.1.1. Origen.....	7
1.1.2. Clasificación taxonómica	7
1.1.3. Descripción de la planta	7
1.1.4. Producción en Argentina	9
1.1.5. El nogal europeo en Catamarca	10
1.1.5.1. Departamentos productores, producción, superficie cultivada	10
1.1.5.2. Situación varietal	10
1.2. PECAN	11
1.2.1. Origen.....	11
1.2.2. Clasificación taxonómica	12
1.2.3. Descripción de la planta	12
1.2.4. Producción en Argentina	13
1.2.5. El pecan en Catamarca	14
1.2.5.1. Departamentos productores, producción, superficie cultivada	14
1.2.5.2. Situación varietal	14
1.3. Importancia del cultivo del nogal europeo y del pecan	15
1.3.1. Nogal	15
1.3.2. Pecan.....	16
1.4. Objetivo General	17
1.5. Objetivos Específicos	17
1.6. Hipótesis.....	17
Capítulo 2	21
2. REQUERIMIENTOS TÉRMICOS EN DOS CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO (‘CHANDLER’ Y ‘TROMPITO INTA’) Y TRES DE PECAN (‘STUART’, ‘WESTERN’ Y ‘PAWNEE’)	21
2.1. Introducción	21
2.2. Objetivo.....	24
2.2.1. Objetivos especificos.....	24
2.3. Materiales y Métodos	25

2.3.1.	Etapa en Cámara de Frío.....	27
2.3.2.	Etapa de Invernadero	28
2.3.3.	Diseño Experimental	29
2.4.	Resultados y Discusión	31
2.4.1.	Influencia de las Unidades de Frío Utah Modificadas - Cultivares sobre el tiempo medio de brotación 33	
2.4.1.1.	Experimento I: varetas de un año.....	33
2.4.1.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	36
2.4.2.	Influencia de las Unidades de Frío Utah Modificadas - Año sobre el tiempo medio de brotación 39	
2.4.2.1.	Experimento I: varetas de un año.....	39
2.4.2.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	41
2.4.3.	Influencia del Cultivar - Año sobre el tiempo medio de brotación.....	43
2.4.3.1.	Experimento I: varetas de un año.....	43
2.4.3.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	45
2.4.4.	Influencia del Cultivar - Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación	47
2.4.4.1.	Experimento I: varetas de un año.....	47
2.4.4.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	49
2.4.5.	Influencia de las Unidades de Frío Utah Modificado - Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación.....	50
2.4.5.1.	Experimento I: varetas de un año.....	50
2.4.5.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	51
2.4.6.	Influencia de las UFUM * Cultivar * Tipo de yema * Año	52
2.4.6.1.	Experimento I: varetas de un año.....	52
2.4.6.2.	Experimento II: plantas en macetas.....	54
2.4.7.	Requerimientos de frío.....	55
2.4.8.	Porcentaje de brotación	61
2.4.9.	Requerimientos de calor.....	71
2.5.	Conclusiones	76
Capítulo 3		81
3.	PROGRESIÓN NATURAL DE LA DORMICIÓN Y LOS REQUERIMIENTO DE FRÍO INVERNAL Y DE CALOR EN CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO Y PECAN	81
3.1.	Introducción.....	81
3.2.	Objetivo	85
3.2.1.	Objetivos específicos.....	85

3.3. Materiales y Métodos	85
3.3.1. Zonas de estudios	85
3.3.2. Material vegetal	86
3.3.3. Prueba de varetas de un año	86
3.3.3.1. Recolección de varetas en el campo	86
3.3.3.2. Acumulación de frío	87
3.3.3.3. Etapa de Invernadero	88
3.3.4. Determinación del valor TMB correspondiente al punto final de la endodormición	90
3.3.5. Determinación de la fecha correspondiente a la finalización de la liberación de la endodormición	90
3.3.6. Seguimiento de la brotación a nivel de árbol	90
3.3.7. Diseño Experimental	91
3.4. Resultados y Discusión	92
3.4.1. Acumulación de Horas de frío y unidades de frío Utah modificadas en condiciones de campo	92
3.4.2. Tiempo de la caída de hojas y brotación de las yemas a campo	95
3.4.3. Valores de TMB correspondientes al punto final de la endodormición	97
3.4.4. Prueba de varetas de un año	98
3.4.4.1. Zonas productoras de nogal europeo: Rosario de Colana y Amadores	98
3.4.4.1.1. Influencia de la Cultivar – Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación	99
3.4.4.1.2. Influencia del Cultivar - Año sobre el tiempo medio de brotación	102
3.4.4.1.3. Influencia del Año - Días de extracción de varetas de un año sobre el tiempo medio de brotación	103
3.4.4.1.4. Influencia del Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación	105
3.4.4.1.5. Influencia de los Días de extracción de VDA * Cultivar * Año sobre el tiempo medio de brotación	105
3.4.4.2. Zonas productoras de pecan: Colonia del Valle y Las Tejas	107
3.4.4.2.1. Influencia del Cultivar – Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación	107
3.4.4.2.2. Influencia del Cultivar - Año sobre el tiempo medio de brotación	110
3.4.4.2.3. Influencia del Año - Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación	111
3.4.4.2.4. Influencia del Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación	112
3.4.4.2.5. Influencia del Tipo de yema - Días de extracción de varetas de un año sobre el tiempo medio de brotación	113

3.4.4.2.6. Influencia de los Días de Extracción de VDA * Cultivar * Año sobre el tiempo medio de brotación	114
3.4.5. Fechas de liberación de la endodormición	116
3.4.5.1. Rosario de Colana	116
3.4.5.2. Amadores	116
3.4.5.3. Colonia del Valle	117
3.4.5.4. Las Tejas	118
3.4.6. Progresión de la dormición de las yemas vegetativas	119
3.4.7. Requerimientos de frío calculados mediante el modelo de horas de frío y unidades de frío utah modificado.....	125
3.4.7.1. Requerimiento de frío según el modelo de unidades de frío Utah modificado	126
3.4.7.2. Requerimiento de frío según el modelo de horas de frío	126
3.4.8. Requerimientos de calor.....	130
3.4.9. Modelos para simular la evolución de la dormición.....	132
3.4.9.1. Evaluación del ajuste predictivo del modelo.....	135
3.4.9.1.1. Fecha de fin de la endodormición	135
3.4.9.1.2. Fecha de brotación a campo	137
3.5. Conclusiones	141
Capítulo 4	147
4. DISPONIBILIDAD DE FRÍO INVERNAL DE LAS ZONAS productoras de nogal europeo y PECAN DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA, ARGENTINA	147
4.1. Introducción.....	147
4.2. Objetivos.....	150
4.2.1. Objetivos específicos.....	150
4.3. Materiales y Métodos	150
4.3.1. Ubicación temporal y espacial del ensayo	150
4.3.2. Modelos de cuantificación de frío invernal.....	152
4.3.2.1. Modelo de Weimberger - horas de frío	152
4.3.2.2. Modelo de unidades de frío Utah modificado por la UC Davis.....	152
4.3.3. Disponibilidad de Horas de frío y unidades de frío Utah modificada por región	153
4.3.3.1. Horas de frío reales (HFr) y unidades de frío Utah modificada (UFUM)	153
4.3.3.2. Horas de frío estimadas (HFe)	154
4.3.3.2.1. Sharpe (1970).....	155
4.3.3.2.2. Da Mota (1957)	155
4.3.3.2.3. Weimberger (1954):	155

4.3.3.2.4. Crossa- Raynaud (1956):.....	155
4.3.3.2.5. Sánchez Capuchino (1967):.....	156
4.3.3.2.6. Anderson y Seeley (1992)	156
4.3.4. Estudios descriptivos de la disponibilidad de frío	156
4.3.5. Estimación de la probabilidad de alcanzar un determinado valor de horas de frío	157
4.4. Resultados y discusión.....	158
4.4.1. Disponibilidad de Horas de frío y unidades de frío Utah modificada por región	158
4.4.1.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca	158
4.4.1.1.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa).....	158
4.4.1.1.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)	159
4.4.1.2. Amadores, Paclín, Catamarca.....	160
4.4.1.2.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa).....	160
4.4.1.2.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)	161
4.4.1.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca.....	162
4.4.1.3.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa).....	162
4.4.1.3.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)	163
4.4.1.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca.....	164
4.4.1.4.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa).....	164
4.4.1.4.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)	165
4.4.2. Horas de frío estimadas (HFe).....	172
4.4.2.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca	172
4.4.2.2. Amadores, Paclín, Catamarca.....	174
4.4.2.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca.....	176
4.4.2.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca.....	178
4.4.3. Análisis descriptivo de la calidad del frío invernal.....	181
4.4.3.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca	181
4.4.3.2. Amadores, Paclín, Catamarca.....	182
4.4.3.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca.....	182

4.4.3.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca.....	183
4.4.4. Estimación de la probabilidad que posee cada zona de cumplir con una determinada cantidad de horas de frío.....	183
4.5. Conclusiones	187
Capítulo 5	193
5. DISCUSIÓN GENERAL Y CONSIDERACIONES FINALES.....	193
5.1. Discusión General.....	193
5.1.1. Requerimientos de frío y calor para brotación del nogal europeo y el pecan	193
5.1.2. Progresión natural de la dormición	199
5.1.3. Disponibilidad de frío invernal	200
5.2. Consideraciones finales.....	202
5.2.1. Importancia de la tesis.....	203
5.2.2. Potenciales aplicaciones	205
5.2.2.1. Elección del cultivar	205
5.2.2.2. Modelado de la dormición	206
5.2.2.3. Programas de mejoramiento genético.....	206
5.2.2.4. Programas de zonificación agroclimática	206
5.2.2.5. Complemento de cultivares	206
5.2.3. Implicancias para futuras investigaciones	207
5.2.3.1. Cambio climático	207
5.2.3.2. Determinación de los requerimientos térmicos para a otras especies y/o cultivares ..	208
Bibliografía.....	209
ANEXOS.....	233
Anexo I: Fichas varietales de las variedades de nogal utilizadas en esta tesis.	235
Anexo II: Fichas varietales de las variedades de pecan utilizadas en esta tesis.....	237
Anexo III: Acondicionamiento húmedo de varetas para evitar el daño por deshidratación que puede ocasionar el frío de la cámara.....	240
Anexo IV: Varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan con sus extremos basales en recipiente de plástico de 500 cc, que contenía agua destilada y una solución de sacarosa al 5 %.....	240
Anexo V: Los estados fenológicos del nogal	241
Anexo VI: Los estados fenológicos del pecan	242
Anexo VII: Áreas de ocupación del suelo del departamento Capayán.....	244

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de nogal europeo: ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’, expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).	31
Tabla 2.2. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de pecan: ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’, expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).....	32
Tabla 2.3. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo: ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’, expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).	32
Tabla 2.4. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de plantas en macetas de los cultivares de pecan: ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’, expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).	33
Tabla 2.5. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de nogal europeo.	35
Tabla 2.6. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de pecan.	36
Tabla 2.7. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las plantas de nogal europeo.	38
Tabla 2.8. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las plantas de pecan.	38
Tabla 2.9. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2018.	56
Tabla 2.10. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2019.	56
Tabla 2.11. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2018.	57
Tabla 2.12. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20°C durante 140 días. Ciclo 2019.	57

Tabla 2.13. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2018.	63
Tabla 2.14. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2019.	63
Tabla 2.15. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2018.	64
Tabla 2.16. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2019.	64
Tabla 2.17. Rango de acumulación de frío en la que varetas de diferentes cultivares de nogal europeo y pecan expuestos a diferentes acumulaciones de frío (0 a 1.000 UFUM) mostraron un porcentaje de brotación superior al 50 %.	65
Tabla 2.18. Requerimiento de frío de las varetas y plantas en macetas calculado para los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') y pecan ('Stuart', 'Pawnee' y 'Western'), para alcanzar la estabilización del tiempo medio de brotación (TMB) y una brotación superior al 50 % tanto en las yemas terminales (YT) y laterales (YT), y en 2 años consecutivos de estudio (2018 y 2019).	67
Tabla 3.1. Ubicación de los sitios de extracción de varetas de un año de los cultivares de nogal europeo y pecan.	86
Tabla 3.2. Horas de frío (HF) mensuales reales por debajo de 7,2 °C, para distintas localidades de la provincia de Catamarca durante dos años consecutivos (2019/2020) ^a	92
Tabla 3.3. Unidades de frío Utah modificadas (UFUM) mensuales, para distintas localidades de la provincia de Catamarca durante dos años consecutivos (2019/2020) ^a	94
Tabla 3.4. Fecha del 50 % de abscisión de las hojas y de los estadios fenológicos de brotación de los cultivares de nogal y pecan para diferentes localidades de la provincia de Catamarca, Argentina, durante dos años sucesivos (2019/2020).	95
Tabla 3.5. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación (TMB) para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de nogal europeo: 'Chandler' y 'Trompito INTA', extraídas a campo cada 20 días, en dos años consecutivos (2019 y 2020).	99
Tabla 3.6. Influencia de la interacción Días de extracción de varetas de un año (VDA) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de nogal europeo.	102
Tabla 3.7. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de pecan: 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western', extraídas a campo cada 20 días, en dos años consecutivos (2019 y 2020).	107

Tabla 3.8. Influencia de la interacción Días de extracción de varetas de un año (VDA) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de pecan.	109
Tabla 3.9. Acumulación de frío (horas de frío) previo a la fecha del 50 % de la caída de las hojas de los cultivares de nogal europeo y pecan para diferentes localidades de la provincia de Catamarca, Argentina, durante dos años sucesivos (2019/2020).	122
Tabla 3.10. Requerimiento de frío expresado como horas de frío (HF) y Unidades de frío Utah Modificado (UFUM) desde el inicio de la acumulación de frío hasta la liberación completa de la endodormición, de los cultivares de nogal europeo: ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’ en “Rosario de Colana” y “Amadores”; y de los cultivares de pecan: ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’ en “Colonia del Valle” y “Las Tejas”.	125
Tabla 3.11. Rango de requerimiento de frío de las varetas de un año calculado para los cultivares de nogal europeo (‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’) y pecan (‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’), para alcanzar el valor de la estabilización del tiempo medio de brotación (TMB) tanto en las yemas terminales (YT) y laterales (YT), en 2 años consecutivos de estudio.	128
Tabla 4.1. Ubicación de los sitios de evaluación.	151
Tabla 4.2. Unidades de frío Utah modificado (UFUM) en base a rangos de temperaturas en °C..	153
Tabla 4.3. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	158
Tabla 4.4. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	159
Tabla 4.5. Unidades de frío Utah modificado mensual (UFUMm), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	160
Tabla 4.6. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	161
Tabla 4.7. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	161
Tabla 4.8. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	162
Tabla 4.9. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	163
Tabla 4.10. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	163
Tabla 4.11. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).	164

Tabla 4.12. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).	165
Tabla 4.13. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).	165
Tabla 4.14. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).	166
Tabla 4.15. Disponibilidad de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Rosario de Colana, Amadores, Las Tejas y Colonia del Valle.	167
Tabla 4.16. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Rosario de Colana (periodo 2011-2021).	172
Tabla 4.17. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Amadores (periodo 2011-2021).	174
Tabla 4.18. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Las Tejas (periodo 2011-2021).	176
Tabla 4.19. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Colonia del Valle (periodo 2016-2021).	178
Tabla 4.20. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Rosario de Colana, Pomán, Catamarca.	182
Tabla 4.21. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Amadores, Paclín, Catamarca.	182
Tabla 4.22. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca.	183
Tabla 4.23. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Colonia del Valle, Capayán, Catamarca.	183
Tabla 4.24. Modelos de ajuste “logísticos” calculados por localidad.	184
Tabla 4.25. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste de los modelos de cada región.	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de los órganos florales y del fruto del nogal.....	9
Figura 1.2: Esquema de los órganos florales y del fruto del pecan.	13
Figura 2.1. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	34
Figura 2.2. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	34
Figura 2.3. Efecto de la acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de las plantas en macetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	36
Figura 2.4. Efecto de la acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de las plantas en macetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	37
Figura 2.5. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas en varetas de nogal europeo (a) y pecan (b) para los años 2018 y 2019. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar. ...	39
Figura 2.6. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.	40
Figura 2.7. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.....	40
Figura 2.8. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo (a) y pecan (b) para los años 2018 y 2019. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	41
Figura 2.9. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.	42
Figura 2.10. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.	42

Figura 2.11. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo (a) cv. ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’ y pecan (b) cv. ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.....	43
Figura 2.12. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.....	44
Figura 2.13. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.	44
Figura 2.14. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo (a) cv. ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’ y pecan (b) cv. ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	45
Figura 2.15. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en macetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.	46
Figura 2.16. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en macetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.	46
Figura 2.17. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	47
Figura 2.18. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.	48
Figura 2.19. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.....	48
Figura 2.20. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	49
Figura 2.21. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.....	50
Figura 2.22. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Las barras verticales representan el error estándar.	51
Figura 2.23. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo (a) y pecan (b). Las barras verticales representan el error estándar.....	52
Figura 2.24. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar. CH: ‘Chandler’; TI: ‘Trompito INTA’; YT: Yema Terminal; TL: Yema Lateral.	53

Figura 2.25. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar. S: 'Stuart'; P: 'Pawnee'; W: 'Western'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Lateral.	53
Figura 2.26. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar. CH: 'Chandler'; TI: 'Trompito INTA'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Terminal.	54
Figura 2.27. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar. S: 'Stuart'; P: 'Pawnee'; W: 'Western'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Terminal.	54
Figura 2.28. Valores medios observados y calculados de la evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de las varetas con la acumulación de frío para las yemas vegetativas de cultivares de nogal europeo: (a) 'Chandler'; (b) 'Trompito INTA'. Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019).	69
Figura 2.29. Valores medios observados y calculados de la evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de las varetas con la acumulación de frío para las yemas vegetativas de cultivares de pecan: (a) 'Stuart'; (b) 'Pawnee'; (c) 'Western'. Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019).	70
Figura 2.30. Requerimiento de calor de las yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas del año (VDA) para alcanzar la etapa fenológica "Cf" en nogal europeo (Germain y Lespinasse, 1999) y "V4" en pecan (Frusso, 2007), en 2 años sucesivos. a: 2018. b: 2019. Separación de media entre cultivares (letras minúsculas) y entre el tipo de yema dentro de los cultivares (letras mayúsculas) según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	72
Figura 2.31. Requerimiento de calor de las yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas (PEM) para alcanzar la etapa fenológica "Cf" en nogal europeo (Germain y Lespinasse, 1999) y "V4" en pecan (Frusso, 2007), en 2 años sucesivos. a: 2018. b: 2019. Separación de media entre cultivares (letras minúsculas) y entre el tipo de yema dentro de los cultivares (letras mayúsculas) según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	74
Figura 3.1. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) con tiempos de enfriamiento crecientes a 5 °C para las yemas vegetativas de cultivares de nogal europeo (a) y pecan (b). Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019). La inercia del crecimiento se expresa por el tiempo medio de brotación de las varetas de un año a 20 °C. El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra vertical.	97
Figura 3.2. Efecto de los días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	100

Figura 3.3. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo para los sitios: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	102
Figura 3.4. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.	103
Figura 3.5. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo para los años 2019 y 2020: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	103
Figura 3.6. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.	104
Figura 3.7. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	105
Figura 3.8. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA), Cultivar y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.	106
Figura 3.9. Efecto de los Días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.	108
Figura 3.10. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de pecan para los sitios: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	110
Figura 3.11. Efecto de los cultivares de pecan y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar.	111
Figura 3.12. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de pecan para los años 2019 y 2020: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.	111
Figura 3.13. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar.	112

- Figura 3.14.** Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar. 113
- Figura 3.15.** Influencia de la interacción del Tipo de yema - Días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, obtenidas de la localidad de "Las Tejas". Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical. 114
- Figura 3.16.** Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA), Cultivar y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar. 115
- Figura 3.17.** Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') en Rosario de Colana para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 70 y 68 días para 'Chandler' y 'Trompito INTA'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra. 116
- Figura 3.18.** Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') en Amadores para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 70 y 68 días para 'Chandler' y 'Trompito INTA'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra. 117
- Figura 3.19.** Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de pecan ('Stuart' y 'Pawnee') en Colonia del Valle para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 51 y 43 días para 'Stuart' y 'Pawnee'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por las barras verticales. 118
- Figura 3.20.** Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de pecan ('Pawnee' y 'Western') en Las Tejas para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 43 y 35 días para 'Pawnee' y 'Western'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por las barras verticales. 118
- Figura 3.21.** Análisis de regresión y correlación lineal entre las horas de frío acumuladas hasta la caída de las hojas y la profundidad máxima de la dormición para los cultivares de nogal europeo: (a) 'Chandler'; (b) 'Trompito INTA' y pecan: (c) 'Pawnee'. Se incluye el coeficiente de correlación (r); coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación obtenida. 123
- Figura 3.22.** Evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de varetas del cultivar 'Pawnee' con acumulaciones de frío artificial y con acumulaciones de frío a campo en las localidades de Las Tejas (sitio más cálido) y Colonia del Valle (sitio más frío). La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para 'Pawnee'). 132
- Figura 3.23.** Relación de las desviaciones entre las fechas de fin de endodormición predichas por los modelos M1; M2 y las observadas, expresadas en días por sitio y cultivar. (a) nogal

europeo, (b) pecan. La línea llena representa el valor real de la fecha de fin de endodormición. Las líneas punteadas representan el rango de tolerancia establecido ± 10 ; ± 15 ; ± 20 días. M1: Modelo del efecto relevante diario (frío o calor). M2: Modelo de la suma de los efectos diarios (frío + calor). RC: Rosario de Colana; Am: Amadores; CV: Colonia del Valle; LT: Las Tejas.....135

Figura. 3.24. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Stuart’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Colonia del Valle”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (51 días para ‘Stuart’). Las líneas de corte vertical representan las fechas de extracciones de varetas a campo.....136

Figura 3.25. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Western’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Las Tejas”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (35 días para ‘Western’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.137

Figura 3.26. Relación de las desviaciones entre las fechas de brotación a campo predichas por los modelos M1; M2 y las observadas, expresadas en días por sitio y cultivar. (a) nogal europeo, (b) pecan. La línea llena representa el valor real de la fecha de fin de endodormición. Las líneas punteadas representan el rango de tolerancia establecido ± 10 ; ± 15 ; ± 20 días. M1: Modelo del efecto relevante diario (frío o calor). M2: Modelo de la suma de los efectos diarios (frío + calor). RC: Rosario de Colana; Am: Amadores; CV: Colonia del Valle; LT: Las Tejas.138

Figura. 3.27. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de nogal europeo ‘Trompito INTA’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Amadores”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (68 días para ‘Trompito INTA’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.138

Figura. 3.28. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Pawnee’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Colonia del Valle”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para ‘Pawnee’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.....139

Figura 3.29. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Pawnee’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicados en la

localidad de “Las Tejas”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para ‘Pawnee’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo..... 140

Figura 4.1. Temperaturas máximas y mínimas medias diarias registradas en el periodo 2016-2021 y 2011-2021 para Colonia del Valle (a) y Las Tejas (b), respectivamente. 170

Figura 4.2. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Rosario de Colana, Dpto. Pomán, Catamarca. 173

Figura 4.3. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Amadores, Dpto. Paclín, Catamarca. 175

Figura 4.4. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Las Tejas, Dpto. Valle Viejo, Catamarca. 177

Figura 4.5. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Colonia del Valle, Dpto. Capayán, Catamarca. 179

Figura 4.6. Modelo de regresión logístico que estima la probabilidad que posee la localidad de Rosario de Colana (a) y Amadores (b) de alcanzar un valor de horas de frío (HF). 185

Figura 4.7. Modelo de regresión logístico que estima la probabilidad que posee la localidad de Las Tejas (a) y Colonia del Valle (b) de alcanzar un valor de horas de frío (HF). 186

Abreviaturas

Am: Amadores

CV: Colonia del Valle

DJ: Días julianos

GDC: Grados días crecimiento

HF: Horas de frío

HFe: Horas de frío estimadas

HFr: Horas de frío reales

HFra: Horas de frío reales anuales

HFrm: Horas de frío reales mensuales

LT: Las Tejas

M1: Modelo 1

M2: Modelo 2

PEM: Plantas en macetas

RC: Rosario de Colana

Tb: Temperatura base

Tm: Temperatura media diaria

Tmax.: Temperatura máxima

TMB: Tiempo medio de brotación

Tmin.: Temperatura mínima

UF: Unidad de frío

UFUM: Unidades de frío Utah modificadas

UFUMa: Unidades de frío Utah modificadas anuales

UFUMm: Unidades de frío Utah modificadas mensuales

VDA: Varetas de un año

YL: Yema lateral

YT: Yema terminal

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los factores más importantes que influyen sobre la adaptación de los frutales de hojas caduca de clima templado son los requerimientos de frío invernal (Alburquerque *et al.*, 2008; Aslamarz *et al.*, 2009; Luedeling, 2012; Sparks, 1993), necesarios para provocar la ruptura del proceso de dormición, el cual representa una estrategia evolutiva de las especies leñosas caducifolias para sobrevivir a condiciones climáticas adversas (Sozzi *et al.*, 2008).

Es muy común la utilización de cultivares con mayores requerimientos de frío en relación a la que ofrece el ambiente (Botelho *et al.*, 2006). No obstante, aunque se ha mencionado que muchos cultivares de nueces requieren temperaturas de aproximadamente 400 a 1.500 h por debajo de 7°C para cumplir con los requerimientos de frío (Chandler *et al.*, 1937), los datos disponibles para los requerimientos de frío y calor de los cultivares de nogal europeo (*Juglans regia* L.), especialmente para los genotipos INTA, son escasos (Carabajal, 2015a).

Cuando la acumulación de frío invernal no es la adecuada, se produce una brotación tardía y desuniforme (Giovanni Lobos, 2014; Tabuenca, 1964; Tersoglio y Naranjo, 2007), mayor extensión de la brotación y la floración (Murrieta Lagarda, 2009), menor desarrollo del área foliar, pudiendo ocasionar daños en ramas y tronco debido a una mayor exposición a la radiación directa (Couvillon, 1995; Tersoglio y Naranjo, 2007). Consecuentemente, la productividad del cultivar se ve seriamente comprometida (Flores, 2007; Gariglio *et al.*, 2008).

La nogalicultura tradicional de la provincia de Catamarca, Argentina, se caracteriza por su alta heterogeneidad genética, existiendo establecimientos implantados con cultivares no aptos agroecológicamente (Carabajal, 2015a). Además, en Catamarca no hay estudios de zonificación varietal de nogal europeo y de pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]. Esto se debe al desconocimiento de las necesidades de frío de los materiales genéticos disponibles y de la oferta ambiental de frío invernal en los diferentes valles de producción (Carabajal, 2016). Sin embargo, en la provincia de La Rioja, (provincia

vecina) se realizaron trabajos de zonificación para frutales caducifolios entre ellos el nogal europeo y el pecan (Vita Serman *et al.*, 2018), siendo un antecedente importante para los estudios de adecuación genotipo ambiente de las especies de frutos secos que se desarrollan en la provincia de Catamarca.

Por la ausencia de este tipo de estudios, se han puesto de manifiesto serios síntomas de falta de frío invernal, fundamentalmente en nuevas zonas de producción, como en la localidad de “Amadores”, Dpto. Paclín, donde se han realizado plantaciones recientes sin experiencias previas de adaptación varietal ni estudios de oferta de frío, entre los sitios (Carabajal, 2015a). Así Carabajal (2016), señala que las nuevas plantaciones de nogal en la provincia de Catamarca, Argentina, realizadas en zonas de baja altitud, determinados años manifiestan el problema de la insuficiencia de frío.

El pecan es menos exigente en frío invernal, y a su vez existen cultivares de bajos requerimientos de horas de frío, lo cual no es común en el nogal europeo (Madero y Carabajal, 2017). Además, el pecan es originario de zonas húmedas (Frusso, 2013), mientras que el nogal europeo lo es de zonas semiáridas (Muncharaz Pou, 2001), siendo estas dos características las principales diferencias que definen la adaptación agroecológica de ambos cultivos (Madero y Carabajal, 2017).

Con respecto a los riesgos relacionados con la falta de conocimiento sobre los requerimientos de calor de los cultivares de nueces, éstos son menores que los requerimientos de frío, pero el conocimiento de los mismos redundará en más posibilidades para el manejo de estos cultivos (Aslamarz *et al.*, 2009).

Por otro lado, existen pocas posibilidades de expansión del cultivo del nogal europeo en las áreas tradicionales de montaña de Catamarca, como la del Departamento Pomán, debido a la escasez del recurso agua. Sin embargo, hay amplias zonas con adecuada disponibilidad hídrica, pero de baja altitud y menor oferta de frío invernal, tal como en el Departamento Paclín, considerado marginal para el cultivo de nogal europeo (790 m.s.n.m), y los Departamentos Valle Viejo (480 m.s.n.m) y Capayán (429 m.s.n.m) con gran potencial para el cultivo de

pecan u otras especies de bajo requerimiento en frío, donde el nogal europeo no tiene posibilidades de adaptación (Cólica, 2015).

La ampliación de la frontera del cultivo de nogal y del pecan en las nuevas áreas con inviernos irregulares, es posible con materiales genéticos de menor exigencia de frío invernal, tales como el nuevo cultivar de nogal europeo 'Trompito INTA' (Carabajal, 2015b), obtenido por INTA Catamarca, o los nogales de pecan. La posibilidad de producción de la nuez de pecan en Catamarca es factible de realizar como una nueva alternativa productiva, ya que existe una alta probabilidad de que las nuevas áreas de producción de la provincia satisfagan las exigencias agronómicas para este cultivo (Madero y Carabajal, 2017).

Este aspecto es muy importante ya que permitiría aumentar considerablemente la producción provincial de nueces, aprovechando el conocimiento y la tradición del cultivo de nogal europeo en la región. Sin embargo, estos nuevos materiales deben ser evaluados correctamente y la región adecuadamente descrita en cuanto a su oferta de frío invernal. Además, es necesario conocer la fenología de los diferentes materiales (Donoso *et al.*, 2007; Gabino *et al.*, 2005), de modo que los cultivares que puedan ser seleccionadas no corran riesgos de factores adversos como el daño por temperaturas de congelamiento en etapas de alta sensibilidad como la floración y el cuajado de los frutos (Gil-Albert Velarde, 1998; Rodríguez Hernández *et al.*, 2015).

La nogalicultura de Catamarca ha logrado un desarrollo aceptable tanto en área cultivada como en tecnología, pero aún se desconocen varios aspectos relacionados con las necesidades climáticas básicas del cultivo, especialmente a nivel de genotipo (Cólica, 2015). Esto limita la determinación confiable de las potenciales áreas de producción para cada cultivar, lo que es un objetivo primario en términos agrícolas y de sustentabilidad. Esta problemática es consecuencia de los micro ambientes típicos de una zona de producción de montaña como la de Catamarca, donde la oferta de frío invernal está asociada a la altura (Cólica, 2015).

La interpretación de zonas climáticas en la provincia de Catamarca es compleja debido a su geografía-topografía, presentando regiones de altura como también valles, lo cual implica grandes variaciones en los diferentes parámetros meteorológicos en las diferentes estaciones del año en cada caso. Por ello es necesario generar información local que ayude a proporcionar criterios para la elección de genotipos convenientes, ayudando a mejorar la producción de nogal, del pecan, y la calidad de los frutos de ambas especies.

La situación actual es más compleja debido al efecto del cambio climático en la región, que aumentó la variabilidad en la disponibilidad de frío invernal (Eller y Vivas, 2015; Zeman *et al.*, 2017). Como consecuencia de la importancia que han adquirido los problemas relacionadas con la falta de frío durante el reposo invernal, especialmente en las nuevas zonas de expansión frutícola y también en las zonas tradicionales por el efecto negativo del calentamiento global, multitud de investigadores en diversos países se han dedicado a su estudio (La Dochy *et al.*, 2007; Luedeling *et al.*, 2009).

En Argentina son escasos los trabajos que han tratado este tema, se puede mencionar los realizados en cerezo dulce (*Prunus avium* L.) (Tersoglio y Naranjo, 2010), en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] (Chaar y Astorga, 2012; Gariglio *et al.*, 2006a), en nogal y avellano (*Corylus avellana* L.) (Del Barrio y Martín, 2011).

En esta tesis, a los ensayos en laboratorio y parcelas experimentales de pecan y nogal, se añaden ensayos en plantaciones comerciales de estas 2 especies, en la que se trabaja con los cultivares ya existentes.

La decisión de trabajar con estas dos especies de frutos secos se baso principalmente.

- La similitud en el manejo agronómico.
- La importancia económica y social de estas dos especies en Argentina.
- Por tratarse de especies de frutos secos que se trabajan desde hace varios años en el INTA Catamarca e INTA Delta, por lo que se dispone de gran información y material vegetal de la mismas.

1.1. NOGAL EUROPEO

1.1.1. ORIGEN

El nogal europeo es un frutal originario de Asia, en una amplia región extendida entre Turquía y la cadena del Himalaya, aunque con probable centro en el actual Irán (Persia), de donde fue llevado por los griegos como “nuez persa” a Europa en el siglo III A.C (Iannamico, 2009). Su cultivo se desarrolla entre los paralelos 40 y 50 (Sebastián Palomares, 2008), aunque en latitudes menores se los cultiva en función de la mayor altitud (Aletà *et al.*, 2003).

1.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Botánicamente pertenece a la familia de las Juglandáceas. Dentro de esta familia se encuentra el género *Juglans* (nogales de fruto comestible y/o aprovechamiento forestal).

Orden: Juglandales

Familia: Juglandáceas

Género: *Juglans*

Entre las especies a destacar, se menciona *Juglans regia* L. o “Nogales comunes o blanco”; *Juglans nigra*, *J. hinsii*, *J. australis*, denominados “Nogales negros”. También existen *J. Cinerea*, *J. mandshurica* M., y *J. sieboldiana* M., conocidos como “Nogales grises” (Muncharaz Puo, 2001).

1.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Juglans regia es un árbol de gran tamaño que puede sobrepasar los 25-30 m de altura, por lo general de porte globoso, ramificado (Iannamico, 2009). El **tronco** puede alcanzar entre 2 a 3 m de diámetro, derecho, cubierto con una corteza cenicienta y lisa; pero a medida que envejece se va agrietando con una coloración parda marrón (Muncharaz Pou, 2001). Las **raíces** conforman un sistema de gran desarrollo, potentes en crecimiento vertical. Aunque la raíz es pivotante y puede llegar en suelos muy profundos a los 6 m o más, en los cultivos comerciales. Por efecto de rotura de la raíz principal en el vivero, el sistema

radicular es más ramificado y equilibrado, explorando perfiles menores de 2 a 4 m si el suelo lo permite; y con una fuerte presencia de raíces absorbentes activas entre los 20 y 120 cm de profundidad. En cuanto al crecimiento horizontal es también muy importante y sobrepasa siempre la extensión de la copa del árbol (Iannamico, 2009). Las **hojas** son grandes, pecioladas, compuestas, caducas, imparipinadas con 7 a 9 folíolos glabros, muy poco dentados, sentados o casi sentados. A excepción de *Juglans regia* L., el resto de los nogales, en cambio, tienen entre 9 y 25 folíolos dentados. Los folíolos tienen forma oval, lanceoladas y su color es verde a la madurez, más oscura en el haz que en el envés. En este sector de la hoja, las nerviaciones son muy marcadas de color blanco verdoso (Iannamico, 2009). Las **ramas** poseen 2 tipos de yemas: de madera o vegetativas y fructíferas o de fruta, estas últimas algo más globosas. Las **yemas** que al año siguiente producirán flores, tanto pistiladas o femeninas como estaminadas o masculinas, desarrollan un proceso de inducción floral que tiene lugar entre fines de diciembre y mediados de enero, momento en el cual es importante que en el frutal exista un buen estado nutricional, tenga buena recepción de luz en toda su canopia y buena disponibilidad de agua (Gariglio *et al.*, 2019). Las yemas se ubican en las axilas de las hojas, generalmente con la presencia de una yema principal más grande y una yema secundaria pequeña y redonda en posición más inferior (Iannamico, 2009). En cuanto a sus **flores**, el nogal es una especie diclino-monoica, con flores unisexuadas y con inflorescencias masculinas y femeninas bien diferenciadas en el mismo árbol (Iannamico, 2009). Las flores masculinas están dispuestas en amentos largos, de 8 a 10 cm, cilíndricos, casi siempre solitarios, de color verde parduzco (Fig. 1.1). Estos se desarrollan lateralmente sobre la madera del año anterior y en número variable dependiendo del cultivar. Cada amento tiene centenares de flores. Estas flores son apétalas, el cáliz posee 5 a 6 sépalos y pueden tener hasta 40 estambres. A la madurez las anteras producen miles de granos de polen, los cuales son microscópicos, con una capa superior rígida, pero con varios poros por donde emerge el tubo polínico. Al ser liviano es fácilmente transportado por el viento, quien actúa como agente polinizante (Donoso *et al.*, 2007).



Juglans regia L.
Image processed by Thomas Schoepke
www.plant-pictures.de

Figura 1.1: Esquema de los órganos florales y del fruto del nogal.

Las flores femeninas son solitarias o agrupadas, pero generalmente aparecen de a pares, en espigas originadas de una yema mixta terminal, aunque en los nuevos cultivares se desarrollan también sobre yemas mixtas laterales. Tienen un pedúnculo corto y grueso, con un receptáculo floral que lleva un pequeño perigonio con tres o cuatro dienteitos. El ovario es ínfero y adherente, unilocular, bicarpelado, terminado por dos estilos muy cortos, del cual nace un gran estigma bifurcado, bien desarrollado y plumoso (Iannamico, 2009).

1.1.4. PRODUCCIÓN EN ARGENTINA

Argentina contribuye con el 0,6 % de la producción mundial de nueces de nogal europeo, y con una participación insignificante en el mercado externo. A nivel nacional, la provincia de Catamarca produce el 14,4 % del nogal europeo (RNFS, 2017). La producción de nueces en el país se desarrolla principalmente en zonas tradicionales de valles y oasis de riego de las provincias de Catamarca, Mendoza, San Juan, Rio Negro y La Rioja (Errecart, 2015).

1.1.5. EL NOGAL EUROPEO EN CATAMARCA

1.1.5.1. Departamentos productores, producción, superficie cultivada

Históricamente Catamarca era la principal productora de nuez, pero de acuerdo al relevamiento del censo nacional agropecuario del año 2018, paso a segundo lugar tanto en lo referente a la cantidad de superficie implantada (4.063 ha), como en los volúmenes de producción (2.645 t). Sin embargo, conserva el primer lugar en cantidad de explotaciones agropecuarias destinadas a la producción de nueces de nogal en el país (2.045 EAPs) (CNA, 2018). Para la economía regional de Catamarca esta actividad es de gran importancia (Errecart, 2015). Respecto a los rendimientos, el de la provincia de Catamarca es el más bajo de la Argentina, con apenas 0,651 t ha⁻¹ promedio (CNA, 2018). Esto se debe en parte al manejo, pero también un componente importante es la elección inadecuada de los cultivares. Así, una gran cantidad de establecimientos utiliza materiales no aptos para su zona de producción (Carabajal, 2015a).

Los principales departamentos productores son Belén, Pomán y Ambato, que en total explican casi el 70 % de la superficie implantada (Cólica, 2015). Los mayores rendimientos se alcanzan en el departamento Paclín, con 1,48 t ha⁻¹, aunque su participación a nivel provincial es de sólo el 0,46 % de la superficie. La menor productividad se registra en el departamento Capayán con 0,92 t ha⁻¹ (Carabajal, 2016).

1.1.5.2. Situación varietal

Desde su introducción a la región por los españoles durante la colonización y hasta 1982, las plantas de nogal provenían de semillas sin injertar, por lo que se generó una gran variabilidad genética en la región. Predominaban las poblaciones del tipo “Criollo”, de Franquette, Turk, Mayette, Payne, Sorrento, Eureka y Wilson Wonder (Prataviera, 1983 citado por Carabajal, 2016).

A mediados de la “década del 80” se introdujeron variedades americanas con características de precocidad, bajos requerimiento de frío y de carga lateral,

como 'Hartley', 'Sunland', 'Howard', 'Lompoc', 'Wilson Wonder', 'Serr', 'Ashley', 'Tehama', 'Pedro', 'Chico', 'SS Franquette', entre las más importantes.

En esta década, se inició un programa de mejoramiento genético en nogal conducido por la E.E.A. Catamarca INTA, visualizándose desde entonces una continua disminución de la utilización de cultivares tipo criolla y el aumento de nuevas plantaciones con nuevos cultivares, a mayor densidad, mejorando el conocimiento en el sector técnico y científico del medio, con gran impacto en la producción y calidad de las nueces (Prataviera, 2015 citado por Carabajal, 2016).

Por otro lado, las características ambientales donde se propagaron estos individuos tampoco fueron descritas, principalmente la oferta de frío invernal, las épocas de heladas, características físicas y químicas de suelo y agua, entre otros factores que son determinantes para el mejor conocimiento varietal (Carabajal, 2016).

Entre los cultivares presentes actualmente en la provincia de Catamarca se encuentra a 'Chandler' como el más difundido, 'Criolla', 'Serr', 'Sunland' y 'Trompito INTA'. Este último es considerado como un cultivar promisorio para el desarrollo de la nogalicultura en zonas de baja altitud y menor oferta de frío (Carabajal, 2015b).

1.2. PECAN

1.2.1. ORIGEN

Es una especie originaria de la región Centro-Sur, Sur-Este de los EE.UU y los valles de los principales ríos del norte de México. Su hábitat natural son las planicies de inundación de los ríos Mississippi, Ohio, Missouri, Colorado y muchos otros cursos de agua en el estado de Texas y en el noreste de México (Cerna-Cortés *et al.*, 2003; Frusso, 2013).

El pecan llegó a nuestro país en el siglo XIX a través de semillas traídas por Domingo F. Sarmiento. Actualmente se pueden encontrar viejas plantas de pecan prácticamente en todo el centro y norte del país con ejemplares de más de 60

años de edad lo que muestra la excelente adaptación de este frutal a las condiciones de nuestro país (Grassi, 2017).

1.2.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El pecan pertenece a la familia de las Juglandáceas, al Género *Carya* y a la Especie *illinoensis*. El nombre común es nuez pecan.

Familia: Juglandáceas

Género: *Carya*

Especie: *illinoensis*

1.2.3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El árbol alcanza una altura entre los 45 y 55 m y comienza a producir en pequeña cantidad a los 5 años y a partir de los 7 u 8 se estima que producen entre 8 y 10 Kg por planta, aumentando la cantidad según pasan los años (Frusso, 2013). Son árboles muy longevos y se calcula que llega a vivir 100 años, aproximadamente (Frusso, 2007; Núñez Moreno *et al.*, 2013).

La **raíz** es pivotante y en el primero y segundo año crece en forma vertical más del doble que su follaje. A partir del tercer año se hace semifibrosa extendiéndose horizontalmente hasta abarcar un área semejante o mayor al del follaje (Suárez Moreno, 2008). Las **hojas** son compuestas, dispuestas en forma alternada, imparipinadas, teniendo de 11 a 17 folíolos de forma oblongo-lanceolada, glabros y de borde aserrado (Frusso, 2007). El **Tronco** es de porte erecto, puede alcanzar de 3 a 4 m de diámetro. Las **Ramas** con una corteza cenicienta y gruesa en las ramas jóvenes y de color pardo rojizo oscuro y agrietado en las viejas. Copa ramosa, extendida, de forma esférica comprimida (Suárez Moreno, 2008).

Presenta una **floración** diclino-monoica con dicogamia, es decir que las flores femeninas y masculinas están dispuestas sobre un mismo pie, aunque normalmente no maduran al mismo tiempo. La **inflorescencia masculina** está compuesta por tres amentos péndulos los cuales están unidos por un pedúnculo. Estos amentos se disponen sobre el tercio apical de las ramas del último año

teniendo de 72 a 123 flores individuales. Cada flor individual a su vez, contiene de 3 a 7 estambres con anteras oblongas, presentando cuatro sacos polínicos de dehiscencia longitudinal (Fig. 1.2).



Figura 1.2: Esquema de los órganos florales y del fruto del pecan.

Las flores femeninas se disponen en una inflorescencia formando un racimo sobre las ramas nuevas. Presentan estigma bífido sobre un disco estigmático rodeado de tres bractéolas y una bráctea. Estas últimas se encuentran fusionadas en la base formando el involucro o ruezno. La **inflorescencia femenina** está compuesta por flores sésiles en número que oscila entre 3 y 10. El estigma, es un carácter que sirve para identificar los cultivares debido a que presentan una forma y coloración características (Frusso, 2007).

1.2.4. PRODUCCIÓN EN ARGENTINA

Argentina contribuye con el 0,2 % de la producción mundial de nueces de pecan, y al igual que lo que se mencionó para el nogal europeo la participación en el mercado externo es insignificante. A nivel nacional la provincia de Catamarca

produce el 0,2 % del nogal de pecan (RNFS, 2017).

La distribución de estas plantaciones se concentra en las provincias de Entre Ríos, Catamarca, Buenos Aires, y Santa Fe. También, en menor medida existen plantaciones en las provincias de Córdoba, Corrientes, Misiones, Chaco, Tucumán, Mendoza, San Juan, La Rioja y Salta (CNA, 2018, PROSAP-UCAR, 2015; RNFS, 2017).

1.2.5. EL PECAN EN CATAMARCA

1.2.5.1. Departamentos productores, producción, superficie cultivada

Actualmente existen 460 ha plantadas con pecan, y en lo referente a los volúmenes de producción cabe mencionar que las plantaciones aún no entraron en producción, ya que los huertos se iniciaron en su mayoría a partir del año 2016. Los departamentos productores son Valle Viejo (456 ha), Capayán (4 ha). En el Departamento Capayán se encuentran las plantas de más edad, implantadas en el año 2009, las cuales ya se encuentran en producción.

1.2.5.2. Situación varietal

En la provincia de Catamarca se presentan características climáticas propicias para la producción de pecan bajo riego. Sin embargo, según los estudios desarrollados por Gómez y Cruzate (2007) la región cordillerana no es apta para la producción de pecan, y el resto de los suelos están clasificados como marginales y aptos, debido al régimen arídico de los suelos. De acuerdo a la clasificación termohídrica desarrollada por Sierra *et al.* (2007), la provincia de Catamarca cuenta con zonas aptas, siempre y cuando se emplee riego complementario y cultivares de pecan adaptados a bajos requerimientos de horas de frío. Entre los cultivares que se encuentran se puede mencionar a 'Western', 'Wichita', 'Mahan', 'Shoshoni', 'Pawnee', 'Desirable', 'Kiowa', 'Oconee', 'Nacono' y 'Stuart' (Delgado y Carabajal, 2018).

La producción del nogal y del pecan se encuentran en un momento de

expansión, no solo en Argentina sino en el mundo entero. Motiva esta tendencia la creciente demanda del consumo de este tipo de frutas, asociada a una alimentación saludable, y otras ventajas logísticas tales como el alto valor por unidad de peso y volumen, lo que enfatiza el transporte y la posibilidad del productor de diferir la venta del producto, a diferencia de otras frutas frescas.

1.3. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL NOGAL EUROPEO Y DEL PECAN

El consumo de frutos secos en general, dentro de los cuales se halla la nuez de nogal y de pecan, se encuentra experimentando un crecimiento sostenido a nivel mundial, y una de las causas es su reconocimiento como productos naturales con amplios beneficios para la salud. También se está instalando la costumbre de consumirlos como colación entre comidas o en “barras” como las de cereales.

1.3.1. NOGAL

Los mayores productores del nogal europeo a nivel mundial son China y Estados Unidos, que concentran el 71 % de la producción global. El tercer productor se encuentra en Sudamérica, y se trata de Chile. En el resto del mundo, otros productores relevantes son Ucrania, Irán y Francia. Argentina ocupa el séptimo puesto, con el 1,5 % de la producción global (FAOSTAT, 2022). Tanto la producción como la exportación a nivel mundial mostraron grandes incrementos en los últimos diez años. Si analizamos el periodo 2007-2017 para la producción mundial de nogal europeo, se estima que la misma se incrementó un 44 %, alcanzando las 881.524 t, mientras que la exportación mundial de nueces peladas se incrementó un 85 % en el periodo 2006-2016 alcanzando las 219.984 t en el último año del periodo mencionado (MAGyP, 2019).

En Argentina, la producción de nogal europeo se distribuye en varias zonas del país, ya que abarca parte de las regiones de Cuyo, el NOA y de la región Patagónica. La superficie implantada alcanza las 16.022 ha aproximadamente, que producen alrededor de 20.937 t (CNA, 2018). Las principales provincias productoras son Mendoza (5.874 ha. y 11.178 t), Catamarca (4.063 ha. y 2.645 t), Rio Negro (1.176 ha. y 1.990 t), La Rioja (3.300 ha. y 2.607 t), San Juan (580 ha.

y 1.203 t) y Neuquén (265 ha. y 290 t) (CNA,2018). Si bien se exportan más de 3.000 t por año en promedio, el 80 % de la producción aproximadamente, se destina al consumo interno (MAGyP, 2019).

1.3.2. PECAN

Para el nogal de pecan los principales países productores son Estados Unidos, seguido por México. Entre ambos países concentran poco más del 90 % de la producción mundial. Otros productores relevantes son Sudáfrica y Australia que participan con el 7 % y el 1 % de la producción mundial, respectivamente (FAOSTAT, 2022). Cabe destacar que referentes del sector pecanero estiman que para el año 2021 China producirá 39.000 t de nuez pecan, ya que entre 2011 y 2016 se plantaron 31.533 ha. Esto impactaría positivamente sobre el sector a nivel mundial, ya que alentaría aún más el consumo de nuez pecan en China, ya que si bien son grandes consumidores seguramente trabajarán en la generación de una “cultura” de consumo de la nuez pecan (SA, 2019).

En Argentina, en la actualidad se producen 1.100 t aproximadamente, pero cabe aclarar que existe una gran cantidad de hectáreas implantadas que no se encuentran en producción o no alcanzaron aún la plena producción. El cultivo se desarrolla desde la Patagonia hasta el NOA, encontrándose el 80 % de la producción concentrada en las provincias del Litoral (Entre Ríos, Corrientes y Misiones), Buenos Aires y Santa Fe. La provincia con mayor superficie implantada es Entre Ríos con 2.201 ha, representando el 54,67 % del total nacional.

De acuerdo al Relevamiento Nacional de Frutos Secos (RNFS) del año 2017, se estimó que en 8 años prácticamente se duplicó la superficie de frutos secos (nuez de nogal, nuez pecan, almendra, avellana y pistacho) en el país, pasando de 12.321 ha en 2008 a 23.144 ha en 2016. La nuez pecan es el fruto seco que mostró mayor incremento en la superficie implantada, pasando del cuarto lugar con 350,2 ha cultivadas, a posicionarse segundo, sólo detrás de nogal europeo, con 4.781 ha, que producen en la actualidad 1.200 t aproximadamente (RNFS, 2017). Documentos del INTA aseguran que existen más de 8.000 ha implantadas, y se calcula una tasa de crecimiento anual en superficie de 600 a 700 ha.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo de los cultivos de frutos secos en las regiones productoras actuales y potenciales de Catamarca, mediante un mejor conocimiento de la demanda térmica de los genotipos de nogal europeo y de pecan y de la oferta ambiental de frío invernal.

Para ello, se han planteado los siguientes objetivos, específicos para las dos especies.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1- Cuantificar los requerimientos de frío y de calor en dos cultivares de nogal europeo y en tres de pecan con necesidades contrastantes de frío invernal.

2- Determinar la oferta térmica en cuatro zonas con diferente potencial productivo para frutos secos en Catamarca.

3- Realizar una prospección genotipo-ambiente de los distintos sitios de estudio en base a los umbrales térmicos requeridos y la disponibilidad térmica ambiental.

1.6. HIPÓTESIS

El conocimiento de los requerimientos de frío y calor de algunos genotipos representativos de nogal europeo y de pecan; y la caracterización térmica de las diferentes zonas de producción permitirán adecuar la elección de cultivares a desarrollar en la provincia de Catamarca.

CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS TÉRMICOS EN DOS CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO ('CHANDLER' Y 'TROMPITO INTA') Y TRES DE PECAN ('STUART', 'WESTERN' Y 'PAWNEE')

CAPÍTULO 2

2. REQUERIMIENTOS TÉRMICOS EN DOS CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO ('CHANDLER' Y 'TROMPITO INTA') Y TRES DE PECAN ('STUART', 'WESTERN' Y 'PAWNEE')

2.1. INTRODUCCIÓN

Los frutales de hoja caduca presentan un período invernal sin crecimiento aparente, estado que se conoce como dormición (Tominaga *et al.*, 2022). La dormición es una estrategia evolutiva de las plantas para sobrevivir en entornos desfavorables, como el período invernal, y se manifiesta con la reducción temporaria de la actividad de cualquier estructura vegetal que contenga un meristema (Sozzi *et al.*, 2008). La dormición puede deberse a factores externos como la temperatura, humedad, oxígeno y a veces la luz (Hedhly *et al.*, 2009; Sozzi *et al.*, 2008; Tao, 2005), aunque a nivel microscópico la actividad metabólica continúa, ya que se produce un lento pero sostenido aumento en el peso de las yemas (Flores, 2007; Monet y Bastard, 1971).

La dormición no constituye un estado uniforme en el desarrollo de las plantas, sino que cubre un espectro de condiciones fisiológicas. Los científicos han diferenciado distintas clases de dormición (Lang *et al.*, 1987): i) **Paradormición:** originada a partir de una o más señales bioquímicas procedente de una estructura diferente del meristema objeto de estudio. Esta señal bioquímica puede ser disparada por algún factor ambiental o no, pero su lugar de origen es un tejido más o menos alejado del tejido meristemático que entra en dormición; ii) **Endodormición:** es impuesta por señales o factores bioquímicos generados dentro del mismo meristema objeto de estudio; iii) **Ecodormición:** es provocada por uno o más factores ambientales inapropiados para el crecimiento (de allí el prefijo "eco"). Se trata de factores inespecíficos que actúan sobre el metabolismo general, más que sobre los meristemas en particular (Sozzi *et al.*, 2008).

La endodormición, a diferencia de la ecodormición, no puede ser revertida sometiendo a la planta o al meristema en estudio a condiciones ambientales favorables (Naor *et al.*, 2003), sino que para ser superada se necesita de la exposición de las yemas a bajas temperaturas, en el periodo considerado de acumulación de frío (Baumgarten *et al.*, 2021). Si bien la acumulación de frío es la forma más común de superar la dormición, existen otros factores que pueden provocar el mismo efecto. Así, diversos autores han reportado que la exposición a algún tipo de estrés subletal (calor, sequía, toxicidad por agentes químicos, anoxia, etc.) puede liberar a las yemas del estado de dormición pero solamente cuando las mismas hayan completado aproximadamente dos tercios de su requerimiento de frío (Chandler *et al.*, 1937; Couvillon, 1995; Faust *et al.*, 1997; Sparks, 1993).

Observaciones de campo en áreas donde las plantas experimentan una dormición prolongada sugieren que la sombra o la presencia frecuente de niebla durante el invierno pueden promover la brotación, especialmente en aquellas plantas con requerimientos de frío más altos (Horvath *et al.*, 2003; Penso *et al.*, 2020). Además de la sombra y la niebla, en manzano (*Malus domestica* L.) el transcurso de días nublados y/o lluvia, estarían afectando la dormición, pero de manera indirecta por su influencia en la temperatura contribuyendo positiva o negativamente a la acumulación de frío (Melke, 2015; Naor *et al.*, 2003). En el caso de la lluvia, también podría haber un efecto de lavado de sustancias inhibitorias en las yemas (Vahdati *et al.*, 2012).

La acumulación de frío restablece la capacidad de crecer, pero no promueve el crecimiento (Rohde y Bhalerao, 2007). Por lo tanto, una vez superada la endodormición la planta puede permanecer en estado de ecodormición si las condiciones ambientales de temperatura no son favorables. Finalmente, la ecodormición se libera, y la planta brota y florece una vez que la yema acumuló la cantidad de calor necesaria (propia del cultivar) (Chaar y Astorga, 2012; Del Barrio y Martin, 2011; Faust *et al.*, 1997; Samish, 1954; Sozzi *et al.*, 2008).

Por lo tanto, la acumulación de frío y de calor es necesaria para una adecuada ruptura de la dormición, brotación, floración y cuaje de frutos (Morelli, 2014;

Yaacoubi *et al.*, 2016). Cada especie y cultivar frutal de follaje caduco posee una demanda determinada de acumulación de frío y de calor, aspecto necesario a la hora de definir qué frutales pueden cultivarse en una zona determinada e interpretar su fenología (Fadón *et al.*, 2018; Flores, 2007; Hassankhah *et al.*, 2017).

Cuando las plantas de clima templado no acumulan suficiente frío de acuerdo a sus necesidades específicas, se observa un conjunto de síntomas. Entre ellos, la brotación es desuniforme y se retrasa; muchas yemas vegetativas no brotan, aunque pueden hacerlo más tarde (Byrne y Bacon, 2009); los brotes crecen más débiles; la dominancia apical se acentúa y la planta presenta un desarrollo más vertical (acrotonía); hay un retraso en la entrada en producción; excesivo uso de reservas; poco desarrollo foliar, con mayor exposición al calentamiento por radiación (Espada Carbo, 2010; Tersoglio *et al.*, 2006).

Como consecuencia del retraso de la floración y su desuniformidad, los cultivos que requieren uso de polinizadores pueden no coincidir en el tiempo de floración, afectando el cuajado de los frutos. Esto sucede ya que cada cultivar posee su propio requerimiento de acumulación de frío y de calor, por lo que cada uno modifica de manera diferente su fenología en función de las características climáticas del año y de sus propios requerimientos. Por otro lado, en años con insuficiente frío invernal la maduración de los frutos es irregular; se presentan menores producciones, y la calidad de la fruta se ve afectada (Morelli, 2014). Particularmente en el pecan, la alternancia o vecería juega un papel muy importante en este esquema, ya que un año con insuficiente frío invernal y en coincidencia con un año de baja producción (año OFF) puede afectar drásticamente el rendimiento del cultivo y desencadenar una marcada vecería en lo sucesivo (Pérez Luna *et al.*, 2015).

De esta manera, si se establece un cultivar en un área donde sus requerimientos de frío no están satisfechos adecuadamente el crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivar se verá afectado negativamente (Leite *et al.*, 2004; Maulión *et al.*, 2014). Por el contrario, en el caso de un cultivar con bajo requerimiento de frío que crece en zonas con inviernos muy prolongados, la

floración podría ocurrir demasiado temprano porque el requerimiento de bajas temperaturas se cumple rápidamente, aumentando la probabilidad de daño por heladas tardías (Scorza y Okie, 1990).

La forma de cuantificar los requerimientos de frío es a través de las horas de frío o unidades de frío, que refiere al tiempo transcurrido por las yemas entre ciertos umbrales de bajas temperaturas (Richardson *et al.*, 1974; Weinberger, 1950). La cuantificación precisa de los requerimientos de horas de frío o unidades de frío para la ruptura de la dormición es muy difícil de llevar a cabo a campo, donde la radiación solar, las fluctuaciones diarias de la temperatura y otros factores ambientales son incontrolables (Dennis Jr., 2003). Además, se suelen sobreestimar los requerimientos de frío ya que en muchas situaciones se engloba al período de ecodormición (García, 2012).

Por lo tanto, el uso de varetas de ramas del año o yemas aisladas, constituye un método que está siendo estandarizado para el estudio de la profundidad y evolución de la dormición de las especies frutales caducifolias (Balandier *et al.*, 1993a). Esta técnica se denomina método biológico (Dennis Jr., 2003). Existen muchas variantes de este método, ya que se pueden usar varetas (Citadin *et al.*, 1998; Citadin, 1999; Herter *et al.*, 2000), yemas individuales (Bianchi *et al.*, 2000; Herter *et al.*, 1992), y plantas en macetas (Camelatto *et al.*, 2000; Citadin *et al.*, 2001). Las diferencias entre los métodos están determinadas por el objetivo de investigación. En nogal europeo y pecan no hay conocimiento preciso de su comportamiento bajo diferentes condiciones de frío.

2.2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue determinar las demandas térmicas para obtener una brotación adecuada, en dos cultivares de nogal ('Chandler', 'Trompito INTA') y tres de pecan ('Stuart', 'Pawnee', 'Western'). Para ello, se han planteado los siguientes objetivos específicos.

2.2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

_Determinar el requerimiento de frío necesarios para superar la endodormición en varetas de un año de los cultivares de nogal europeo y de pecan.

_Determinar el requerimiento de calor necesarios para superar la ecodormición en varetas de un año de los cultivares de nogal europeo y de pecan.

_Determinar el requerimiento de frío necesarios para superar la endodormición en plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo y de pecan.

_Determinar el requerimiento de calor necesarios para superar la ecodormición en plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo y de pecan.

_Comparar los requerimientos térmicos obtenidos en varetas de un año y plantas en macetas.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el nogal europeo (*Juglans regia* L.), los cultivares con los que se trabajó fueron 'Chandler' y 'Trompito INTA', este último es un genotipo prometedor producto del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Catamarca, Argentina (Carabajal *et al.*, 2021). Para el caso de pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], se utilizaron los cultivares 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western'.

Algunas de las características de los cultivares utilizados en el ensayo, se presentan en el anexo I y II.

Se realizaron dos conjuntos de experimentos durante 2018 y 2019 en la Estación Experimental Agropecuaria Catamarca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Valle Viejo, Catamarca, Argentina (latitud 28°28'07.7" S; longitud 65°43'40.3" O). Se trabajó con varetas del año (VDA) (Experimento I) y plantas en macetas (PEM), (Experimento II).

Para el experimento II, las plantas fueron provistas por viveros y contaban al inicio del ensayo con la edad de 1 año desde el injerto y 2 años el portainjerto. En el caso del nogal europeo las plantas estaban injertadas sobre *Juglans regia*, mientras que los pecanes lo estaban sobre pie franco. Las plantas se dispusieron en macetas de plástico de color negro de 60 litros, estando homogenizada por su altura y diámetro. Se empleó como sustrato una mezcla de 40 % de perlita, 40 %

de tierra con mantillo, y 20 % de turba (v/v). Manejadas sin limitaciones de riego, con una dosis de 1.000 ml de agua con una frecuencia de 3 o 4 veces por semana para mantener la tierra húmeda.

La recolección de las VDA se realizó en mayo de 2018 y 2019, cuando habían caído el 50 % de las hojas (Aslamarz *et al.*, 2009; Gariglio *et al.*, 2006a). Las VDA de los cultivares estudiados se extrajeron de los huertos experimentales de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') y pecan ('Stuart', 'Pawnee' y 'Western') que se encuentran en la EEA Catamarca, y consistieron en brotes de un año, de entre 30 a 40 cm de largo y 2 a 3 cm de diámetro, extraídas al azar del tercio superior de plantas madres que proveen varetas para injerto. En el huerto experimental de nogal europeo (latitud 28°47'08.3" S; longitud 65°72'87.8" O; 545,56 m.s.n.m), los árboles estaban plantados a 10 m x 10 m, mientras que en el huerto experimental de pecan (latitud 28°47'05.7" S; longitud 65°72'87.8" O; 551,58 m.s.n.m), el marco de plantación era de 8 m x 8 m. Ambos huertos se encontraban en un suelo franco-arenoso. Los árboles de los cuales se extrajeron las VDA recibieron similares prácticas culturales como el riego y la fertilización.

Las varetas fueron transportadas inmediatamente hasta el laboratorio de la Estación Experimental Agropecuaria Sumalao del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Catamarca, donde se realizó los ensayos experimentales.

Para cada cultivar de ambas especies se recolectaron aleatoriamente 220 varetas de un total de seis árboles. Sólo se mantuvo la yema terminal y una lateral, eliminándose las demás yemas. Posteriormente, fueron divididas en 10 lotes de 20 varetas, a los que se les aplicó una combinación de fungicidas (Carbendazin, Thiran), y luego fueron ubicadas en bolsas plásticas de polietileno atóxico con capacidad de 10 litros.

Las varetas, así acondicionadas se sometieron a tratamientos de acumulación de frío artificial en cámaras (ver apartado 2.3.1). Entre el espacio de las paredes de la bolsa y el paquete de 20 unidades de varetas, se agregó aserrín de madera blanda humedecida con una solución que contenía una mezcla de fungicida y bactericida (Anexo III). El acondicionamiento húmedo se realizó para evitar el

daño por deshidratación que puede ocasionar el frío de la cámara (Ruiz *et al.*, 2007; Vahdati *et al.*, 2012).

Las plantas en maceta no recibieron ningún tratamiento específico previo al tratamiento de frío artificial.

2.3.1. ETAPA EN CÁMARA DE FRÍO

Para la aplicación de frío artificial, las VDA y las PEM acondicionadas en los recipientes mencionados anteriormente fueron sometidas a diferentes períodos de frío en cámara frigorífica a 5 ± 2 °C. En las VDA los tratamientos consistieron en simular diferentes acumulaciones de frío: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, y 1000 unidades de frío Utah modificada (UFUM). Mientras que para las PEM los tratamientos de acumulación de frío fueron: 0, 200, 400, 600 y 800 UFUM. En el tratamiento control, sin acumulación de frío (0 UFUM), las VDA y las PEM no pasaron por la cámara, siendo llevadas directamente al invernadero para ser forzadas a brotar. Los métodos empleados para medir el efecto del frío durante el experimento son el de Utah modificado por la UC Davis, que utilizó el concepto de unidad de frío modificada (UFUM), el cual consiste en una ligera modificación de los rangos de temperatura propuestos por Richardson (Seeley, 1996), y el de horas de frío (HF), el cual considera 1 HF cuando las temperaturas se encuentran por debajo de 7,2 °C, durante el periodo de una hora (Weinberger, 1950).

De acuerdo a este modelo cada hora en cámara a 5 °C equivaldrá a 1 UFUM, por lo que las unidades de frío y las horas de frío resultan coincidentes en los tratamientos de frío artificial. El fotoperiodo se ajustó a 8 h y la intensidad lumínica $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF en la cámara de frío (Smith *et al.*, 1992). Además, se instaló un sensor tipo ibutton Ds1921 G Thermochrom Logger 2kb -40+85 °C Iytarg, para monitorear las temperaturas dentro de la cámara.

Las PEM fueron deshojadas manualmente inmediatamente antes de ser transferidas a la cámara de frío, en caso que la defoliación natural no haya sido completa (Smith *et al.*, 1992). Se introdujeron todas las plantas y varetas dentro de la cámara de frío, de tal modo que a medida que se complete cada tratamiento

se iban sacando de manera escalonada, para luego ser transferidos a un invernadero de bioseguridad donde fueron forzadas a brotar.

2.3.2. ETAPA DE INVERNADERO

Después de realizar los tratamientos de frío, las PEM y las VDA fueron trasladadas desde la cámara al invernadero para forzar la brotación. Las varetas se colocaron con sus extremos basales en recipiente de plástico de 500 cc, que contenía agua destilada y una solución de sacarosa al 5 % (Brighenti, 2012; Tersoglio *et al.*, 2006) (Ver anexo IV). Los extremos basales de las varetas se cortaron semanalmente para evitar la oclusión de los vasos y el agua se reemplazó diariamente (Balandier *et al.*, 1993a; Citadin *et al.*, 1998; Dennis Jr., 2003). El material vegetal se mantuvo en el invernadero con un fotoperíodo natural y temperatura variable entre 15 y 25 °C, de acuerdo a la programación del panel de control de comandos del invernadero de bioseguridad.

Para el control de la temperatura dentro del invernadero de bioseguridad se instaló un Data logger (CEM DT-172). Por otro lado, los registros de temperaturas fueron empleados para el cálculo de los grados días de crecimiento (GDC) acumulados (Richardson *et al.*, 1974), desde la etapa en que las VDA y PEM se transfirieron al invernadero hasta que las yemas alcanzaron el estado fenológico “Cf” en nogal europeo (Germain y Lespinasse, 1999) y “V4” en pecan (Frusso, 2007). Ver estos estados fenológicos en el anexo V y VI. Se midió la evolución de la brotación de las yemas laterales (YL) y terminales (YT) tres veces por semana y las observaciones en cada vareta o planta individual finalizó cuando las yemas alcanzaron los estados fenológicos antes mencionados.

Los GDC se calcularon como la sumatoria de la diferencia entre la temperatura media diaria (T_m) y la temperatura base de crecimiento (T_b) de cada especie de nogal, con la temperatura media diaria calculada como la media de las temperaturas mínimas y máximas diarias (Aslamarz *et al.*, 2009; Citadin *et al.*, 2003; Melgarejo Moreno, 1996). La temperatura base tanto para nogal como pecan fue de 10 °C (Del Barrio y Martín, 2011; Luna Lorente, 1990; Michelini, 2018; Sierra *et al.*, 2007).

$$\text{GDC} = \sum ((T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2) - T_b$$

GDC= Grados días de crecimiento acumulados

T_{max}= Temperatura máxima

T_{min}= Temperatura mínima

T_b: Temperatura base de crecimiento (10 °C)

Los resultados se expresaron como tiempo medio de brotación (TMB): número de días transcurridos entre la instalación del experimento en cada fecha y la detección de la etapa fenológica “Cf” y “V4”; o como porcentaje (≥ 50 %) de varetas con yemas (terminal + lateral) brotadas luego de 90 días de forzado (Balandier *et al.*, 1993a). Se consideró que el requerimiento de frío fue satisfecho cuando el TMB se estabilizó (dejó de disminuir) en respuesta a una acumulación creciente de horas de frío (Dennis Jr., 2003; Gariglio *et al.*, 2006a). El valor estabilizado representa el requerimiento de calor para la brotación.

2.3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para las VDA los ensayos se realizaron en un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones de cinco varetas por tratamiento y cultivar. Mientras que para las PEM se realizó un DCA con cuatro repeticiones de planta única por tratamiento y cultivar. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011). El análisis de varianza (ANAVA) fue calculado sobre el tiempo medio de brotación para cada tipo de nogal.

Puede encontrarse que la respuesta obtenida para los distintos niveles de los factores año, cultivar, tipo de yema y unidades de frío Utah modificadas no se puede explicar cómo la suma de los efectos individuales de estos factores. La presencia de interacciones significativas explica que la combinación de efectos difiere de la suma de los efectos individuales de cada factor. Las interacciones significativas de segundo orden (3 factores), no se analizaron, ya que se considera más informativo e importante explicar la interacción significativa de tercer orden, donde involucra a los 4 factores establecidos (Garrido García, 2008;

Montgomery, 1991).

Se implementó la prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias. Las diferencias entre las medias al nivel del 5 % ($P < 0,05$) fueron considerados como significativos. Mediante el análisis de regresión no lineal se estudió cómo los cambios en las UFUM (variable predictora) afectan al TMB (variable respuesta), mediante el ajuste de un modelo para la relación funcional entre ambas. Los datos fueron analizados y graficados mediante el software TableCurve 2D.

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las VDA y PEM, la variable tiempo medio de brotación (TMB) mostró diferencias significativas con respecto a las unidades de frío Utah modificadas (UFUM), el cultivar de nogal europeo, el tipo de yema, el año y la interacción entre estos factores (Tabla 2.1; Tabla 2.3).

En pecan, también se observó que el TMB mostró la misma respuesta para los factores e interacciones antes mencionadas (Tabla 2.2; Tabla 2.4).

Experimento I: Tiempo Medio de Brotación de varetas de un año

Tabla 2.1. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de nogal europeo: 'Chandler' y 'Trompito INTA', expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	609728,97	87	7008,38	1962,6	<0,0001
UFUM	557387,13	10	55738,71	15609	<0,0001
Cultivar	24106,73	1	24106,73	6750,7	<0,0001
Tipo de yema	789	1	789	220,95	<0,0001
Año	2812,57	1	2812,57	787,61	<0,0001
UFUM*Cultivar	21345,43	10	2134,54	597,74	<0,0001
UFUM*Tipo de yema	214,53	10	21,45	6,01	<0,0001
UFUM*Año	1337,34	10	133,73	37,45	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	35	1	35	9,8	0,0019
Cultivar*Año	696,09	1	696,09	194,93	<0,0001
Tipo de yema*Año	0,48	1	0,48	0,13	0,7142
UFUM*Cultivar*Tipo de yema	125,78	10	12,58	3,52	0,0002
UFUM*Cultivar*Año	750,81	10	75,08	21,03	<0,0001
UFUM*Tipo de yema*Año	45,3	10	4,53	1,27	0,2483
Cultivar*Tipo de yema*Año	0,82	1	0,82	0,23	0,632
UFUM*Cultivar*Tipo de yema*Año	81,96	10	8,2	2,3	0,0135
Error	942,75	264	3,57		
Total	610671,72	351			

Tabla 2.2. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de pecan: 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western', expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	290299,7	131	2216,03	1669,13	<0,0001
UFUM	201647,81	10	20164,78	15188,31	<0,0001
Cultivar	59678,79	2	29839,39	22475,32	<0,0001
Tipo de yema	1684,18	1	1684,18	1268,54	<0,0001
AÑO	4722,05	1	4722,05	3556,69	<0,0001
UFUM*Cultivar	8304,92	20	415,25	312,77	<0,0001
UFUM*Tipo de yema	285,67	10	28,57	21,52	<0,0001
UFUM*AÑO	2656,31	10	265,63	200,08	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	48,74	2	24,37	18,36	<0,0001
Cultivar*AÑO	8352,79	2	4176,39	3145,7	<0,0001
Tipo de yema*AÑO	8	1	8	6,03	0,0145
UFUM*Cultivar*Tipo de yema	100,22	20	5,01	3,77	<0,0001
UFUM*Cultivar*AÑO	2680,42	20	134,02	100,95	<0,0001
UFUM*Tipo de yema*AÑO	28,19	10	2,82	2,12	0,0219
Cultivar*Tipo de yema*AÑO	19,2	2	9,6	7,23	0,0008
UFUM*Cultivar*Tipo de yema*AÑO	82,43	20	4,12	3,1	<0,0001
Error	525,75	396	1,33		
Total	290825,45	527			

Experimento II: Tiempo Medio de Brotación de Plantas en Macetas

Tabla 2.3. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo: 'Chandler' y 'Trompito INTA', expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91188,38	39	2338,16	1962,1	<0,0001
UFUM	60377	4	15094,25	12666,5	<0,0001
Cultivar	9120,4	1	9120,4	7653,48	<0,0001
Tipo de yema	1587,6	1	1587,6	1332,25	<0,0001
Año	12567,03	1	12567,03	10545,76	<0,0001
UFUM*Cultivar	1149,48	4	287,37	241,15	<0,0001
UFUM*Tipo de yema	67,15	4	16,79	14,09	<0,0001
UFUM*Año	4570,23	4	1142,56	958,79	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	0,03	1	0,03	0,02	0,8851
Cultivar*Año	144,4	1	144,4	121,17	<0,0001
Tipo de yema*Año	32,4	1	32,4	27,19	<0,0001
UFUM*Cultivar*Tipo de yema	31,23	4	7,81	6,55	0,0001
UFUM*Cultivar*Año	1479,1	4	369,78	310,3	<0,0001
UFUM*Tipo de yema*Año	29,73	4	7,43	6,24	0,0001
Cultivar*Tipo de yema*Año	0,03	1	0,03	0,02	0,8851
UFUM*Cultivar*Tipo de yema*Año	32,6	4	8,15	6,84	0,0001
Error	143	120	1,19		
Total	91331,38	159			

Tabla 2.4. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de plantas en macetas de los cultivares de pecan: 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western', expuestos a distintos niveles de frío en dos años consecutivos (2018 y 2019).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	103729,08	59	1758,12	2501,67	<0,0001
UFUM	72204,04	4	18051,01	25685,23	<0,0001
Cultivar	16648,11	2	8324,05	11844,5	<0,0001
Tipo de yema	897,07	1	897,07	1276,46	<0,0001
AÑO	3936,6	1	3936,6	5601,49	<0,0001
UFUM*Cultivar	1997,31	8	249,66	355,25	<0,0001
UFUM*Tipo de yema	99,89	4	24,97	35,53	<0,0001
UFUM*AÑO	5510,36	4	1377,59	1960,21	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	175,41	2	87,7	124,8	<0,0001
Cultivar*AÑO	813,77	2	406,89	578,97	<0,0001
Tipo de yema*AÑO	4,82	1	4,82	6,85	0,0096
UFUM*Cultivar*Tipo de yema	62,26	8	7,78	11,07	<0,0001
UFUM*Cultivar*AÑO	1123,14	8	140,39	199,77	<0,0001
UFUM*Tipo de yema*AÑO	25,81	4	6,45	9,18	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema*AÑO	85,41	2	42,7	60,76	<0,0001
UFUM*Cultivar*Tipo de yema*AÑO	145,09	8	18,14	25,81	<0,0001
Error	126,5	180	0,7		
Total	103855,58	239			

2.4.1. INFLUENCIA DE LAS UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADAS - CULTIVARES SOBRE EL TIEMPO MEDIO DE BROTACIÓN

2.4.1.1. Experimento I: varetas de un año

Las observaciones se realizaron hasta los 140 días de forzado, momento en que las yemas empezaron a manifestar síntomas de deshidratación. En los cultivares de nogal europeo, 'Chandler' y 'Trompito INTA', no hubo brotación en los tratamientos de 0 y 100 UFUM en ambos años de estudio, por lo que en estos tratamientos no se pudo determinar el TMB de las yemas vegetativas terminales y laterales (Fig. 2.1). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gariglio *et al.* (2006a) y Brighenti (2012), quienes observaron que en algunos de los cultivares de duraznero y pera (*Pyrus communis* L.), respectivamente, el TMB no pudo ser medido cuando la acumulación de frío fue menor a la 100 HF (UFUM).

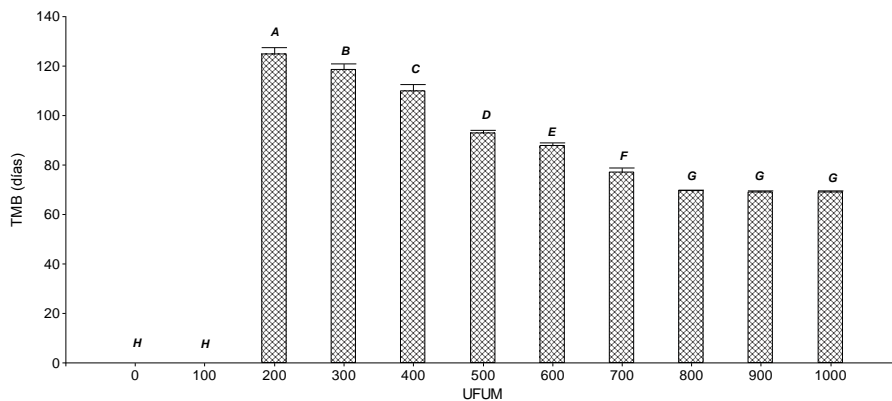


Figura 2.1. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Respecto a los cultivares de pecan, 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western', manifestaron brotaciones en los dos años a pesar de no haber acumulado frío (0 UFUM) (Fig. 2.2).

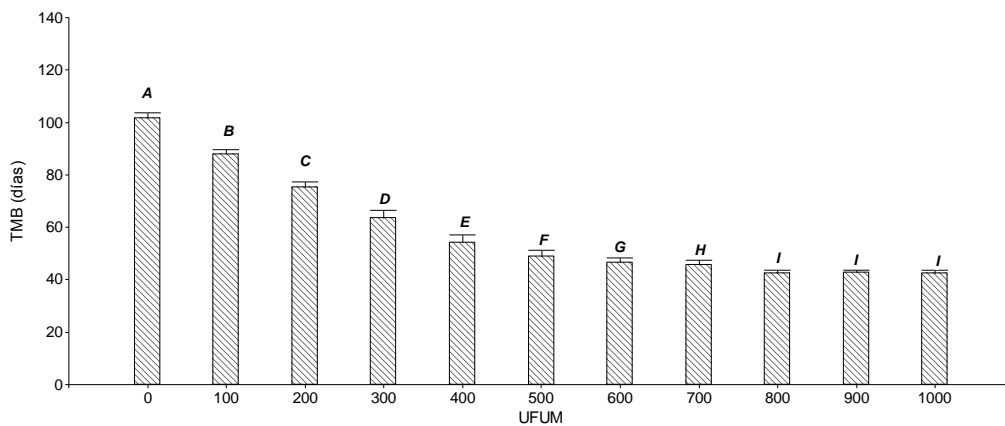


Figura 2.2. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Para ambos cultivares de nogal europeo el TMB más alto se registró cuando acumularon 200 UFUM, siendo este valor mayor en 'Chandler' que en 'Trompito INTA' (Tabla 2.5). En promedio ambos cultivares, entre la acumulación de frío de 800, 900 y 1.000 UFUM no se manifestaron diferencias significativas (Fig. 2.1); sin embargo, este comportamiento general se observó sólo para el cultivar 'Chandler' (Tabla 2.5). Para 'Trompito INTA' el comportamiento fue diferente, lo que demuestra la interacción significativa entre la UFUM y los cultivares de nogal

europeo. En general, ‘Trompito INTA’, no presentó cambios significativos en el tiempo medio de brotación con acumulaciones de frío superiores a los 600 UFUM (Tabla 2.5). Además, el valor de TMB para el tratamiento de 500 UFUM fue levemente superior (+4 %) a los tratamientos de mayor acumulación de frío.

Por lo tanto, ‘Chandler’ es el cultivar de nogal europeo que requiere mayor acumulación de frío para lograr un valor de TMB estable.

Tabla 2.5. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de nogal europeo.

Cultivar	UFUM										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Chandler		137 ± 2,4 aA	131 ± 2,2 aA	123 ± 2,5 bA	115 ± 1,6 cA	107 ± 1,5 dA	86 ± 1,4 eA	71 ± 0,7 fA	69 ± 1,1 fA	69 ± 1,0 fA	
Trompito INTA		113 ± 1,5 aB	106 ± 0,9 bB	96 ± 0,9 cB	71 ± 0,8 dB	68 ± 0,6 eB	68 ± 0,5 eB	68 ± 0,7 eB	69 ± 0,7 eA	69 ± 0,5 eA	

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Por otro lado, en pecan el TMB más alto se registró cuando no se acumuló frío; y de manera similar que en el nogal europeo no se observaron diferencias significativas entre las 800 y 1000 UFUM (Fig. 2.2). Este comportamiento general fue observado solo en ‘Stuart’, lo que demuestra la interacción significativa entre la UFUM y los cultivares de pecan. En general, ‘Pawnee’ y ‘Western’, no presentaron cambios significativos en el TMB con acumulaciones de frío superior a las 400 UFUM (Tabla 2.6), lo que estaría indicando una marcada diferencia en el requerimiento de frío de estos dos últimos cultivares respecto al primero.

Tabla 2.6. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de pecan.

Cultivar	UFUM										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Stuart	115 ± 2,0aA	100 ± 1,3bA	89 ± 1,1cA	85 ± 1,1cA	78 ± 1,0dA	68 ± 1,0eA	61 ± 1,6fA	58 ± 1,1fA	50 ± 1,1gA	50 ± 0,9gA	50 ± 1,0gA
Pawnee	99 ± 3,1aB	88 ± 2,9bB	77 ± 2,6cB	62 ± 2,9dB	50 ± 3,3eB	43 ± 1,8eB	44 ± 1,5eB	43 ± 1,8eB	42 ± 1,7eB	43 ± 1,6eB	44 ± 1,7eB
Western	91 ± 1,7aC	76 ± 0,6bC	61 ± 0,9cC	44 ± 2,4dC	35 ± 0,4eC	35 ± 0,4eC	36 ± 0,4eC	35 ± 0,4eC	35 ± 0,4eC	35 ± 0,3eC	34 ± 0,3eC

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

2.4.1.2. Experimento II: plantas en macetas

A diferencia de lo que ocurrió en el experimento con VDA, en las PEM los cultivares de nogal europeo manifestaron brotación en los dos años, aun en los tratamientos en los que no se acumuló frío (Fig. 2.3).

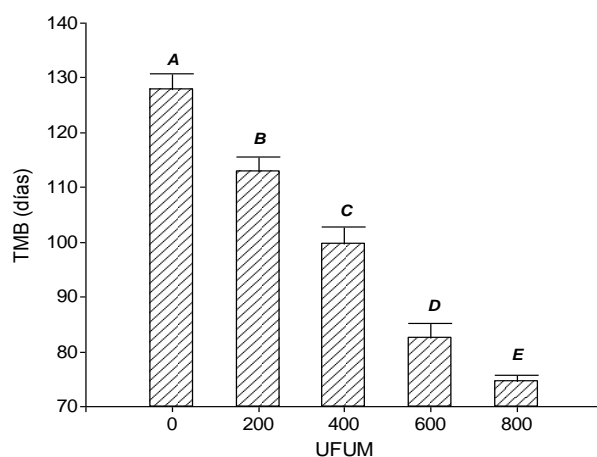


Figura 2.3. Efecto de la acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de las plantas en macetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Respecto a los cultivares de pecan, ‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’, también manifestaron brotaciones en los dos años a pesar de no haber acumulado frío (0 UFUM) (Fig. 2.4), mostrando en este caso un comportamiento similar al observado en las varetas.

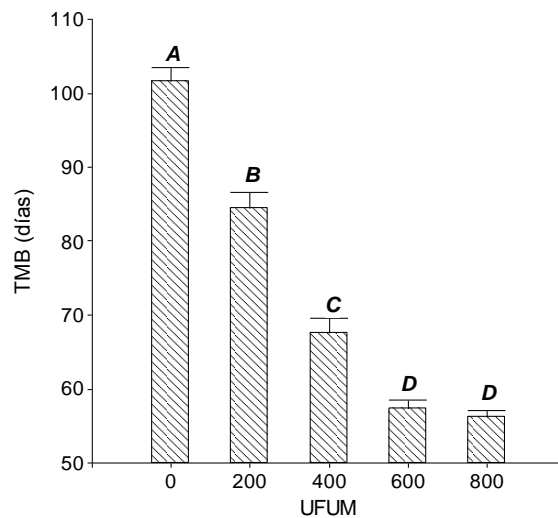


Figura 2.4. Efecto de la acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de las plantas en macetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Tanto en los cultivares de nogal europeo como en los de pecan, el TMB más alto se registró cuando no se acumuló frío (Fig. 2.3 y 2.4). Estos resultados coinciden con los reportados por Campoy *et al.* (2011b) quienes observaron en damasco (*Prunus armeniaca* L.) un alto valor de TMB justo antes de la acumulación de frío (principio de invierno), mostrando un estado de dormición ya impuesto como habían informado estudios previos (Crabbé y Barnola, 1996; Haguage y Cummins, 1991). Esta observación apoya la idea de que la inducción de la dormición es un continuo que, en algunas plantas, comienza tan pronto como la brotación en la primavera (Arora *et al.*, 2003). Crabbé y Barnola (1996) afirmaron que el mismo acto de formación de yemas es evidencia del establecimiento de la dormición, que es el resultado de procesos potencialmente diversos que conducen a un resultado común de crecimiento suprimido.

Por otro lado, se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de frío (Fig. 2.3). Este comportamiento general, sin embargo, fue diferente para ambos cultivares de nogal europeo (Tabla 2.7). Para todos los tratamientos de frío, las plantas de 'Chandler' siempre presentaron mayor TMB que las del cultivar 'Trompito INTA'. En general, 'Trompito INTA', no presentó cambios significativos en el tiempo medio de brotación con acumulaciones de frío

superiores a las 600 UFUM (Tabla 2.7), resultados similares al que se obtuvieron en el experimento con varetas. Mientras que ‘Chandler’ mostró diferencias significativas entre los tratamientos de mayor acumulación de frío, de 600 y 800 UFUM. Además, se observó que en todos los tratamientos hubo diferencias en el TMB entre ambos cultivares (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las plantas de nogal europeo.

Cultivar	UFUM				
	0	200	400	600	800
Chandler	133,88 aA	121,69 aA	107,94 bA	94 cA	78,06 dA
Trompito INTA	121,81 aB	104,25 bB	91,50 cB	71,25 dB	71,25 dB

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Por otro lado, en pecan también existieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de UFUM (Fig. 2.4). Este comportamiento general fue diferente para los 3 cultivares (Tabla 2.8). Los 3 cultivares mostraron el mismo TMB hasta las 400 UFUM, y luego ‘Stuart’ presentó un comportamiento diferente. Es el comportamiento de ‘Stuart’ la que explica la interacción significativa entre los cultivares de pecan y los tratamientos de frío.

Tabla 2.8. Influencia de la interacción Unidades de Frío Utah Modificada (UFUM) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las plantas de pecan.

Cultivar	UFUM				
	0	200	400	600	800
Stuart	113,44 aA	95,94 bA	83,19 cA	64,19 dA	60,44 dA
Pawnee	101,31 aB	85,00 bB	64,88 cB	59,13 cB	59,13 cA
Western	90,19 aC	72,44 bC	54,50 cC	48,94 cC	49,19 cB

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

‘Pawnee’ y ‘Western’, no presentaron cambios significativos en el TMB con acumulaciones de frío superiores a las 400 UFUM (Tabla 2.8), resultados similares se obtuvieron en el experimento I. ‘Stuart’, en cambio, mostró diferencias no significativas a partir de las 600 UFUM (Tabla 2.8). Además, se observó que en todos los tratamientos menores a las 600 UFUM hubo diferencias en el TMB

entre cultivares. Mientras que en el tratamiento de 800 UFUM, 'Stuart' y 'Pawnee' presentaron diferencias respecto a 'Western' (Tabla 2.8).

2.4.2. INFLUENCIA DE LAS UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADAS - AÑO SOBRE EL TIEMPO MEDIO DE BROTAÇÃO

2.4.2.1. Experimento I: varetas de un año

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debidas a las UFUM, al año de evaluación y a la interacción entre ambos (Tabla 2.1; Tabla 2.2). En el año 2019 el TMB en los cultivares de nogal europeo fue más alto que en el ciclo 2018 (Fig. 2.5a), mientras que en los cultivares de pecan se observó la situación inversa (Fig. 2.5b).

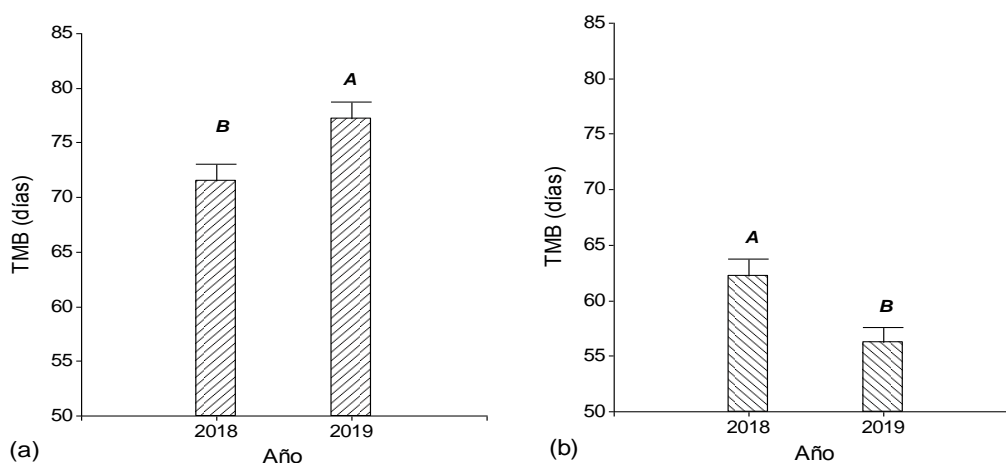


Figura 2.5. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas en varetas de nogal europeo (a) y pecan (b) para los años 2018 y 2019. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

La figura 2.6 muestra que, en nogal europeo, la diferencia entre el TMB para los distintos tratamientos de acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas fue mayor en casi todos los casos en el año 2019 que para el año 2018.

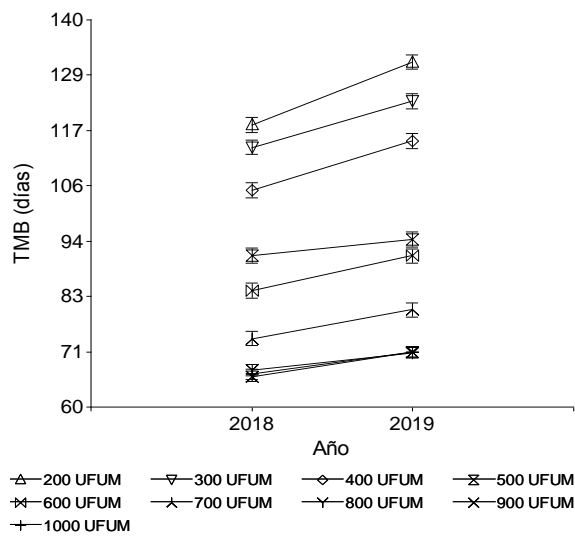


Figura 2.6. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.

Por el contrario, en pecan el TMB fue mayor en casi todos los casos en el año 2018 respecto a 2019 (Fig. 2.7).

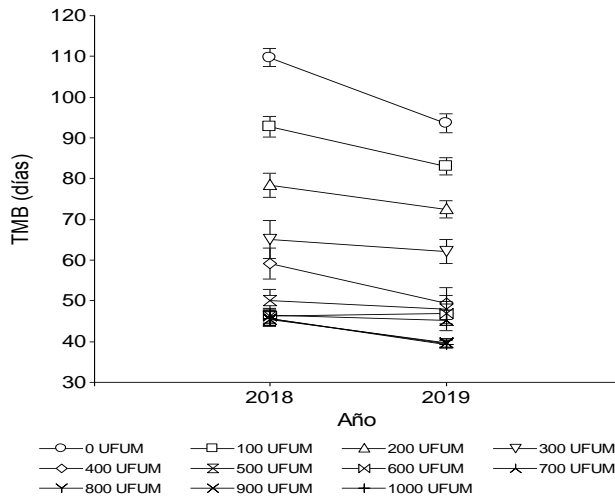


Figura 2.7. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.2.2. Experimento II: plantas en macetas

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debidas a las UFUM, al año de evaluación y a la interacción entre ambos (Tabla 2.3; Tabla 2.4). En el año 2018 el TMB en los cultivares de nogal europeo y pecan fue más alto que en el ciclo 2019 (Fig. 2.8a y b), lo cual marca una diferencia de comportamiento con el experimento I, donde en el caso del nogal europeo el TMB del año 2019 era mayor al del año 2018.

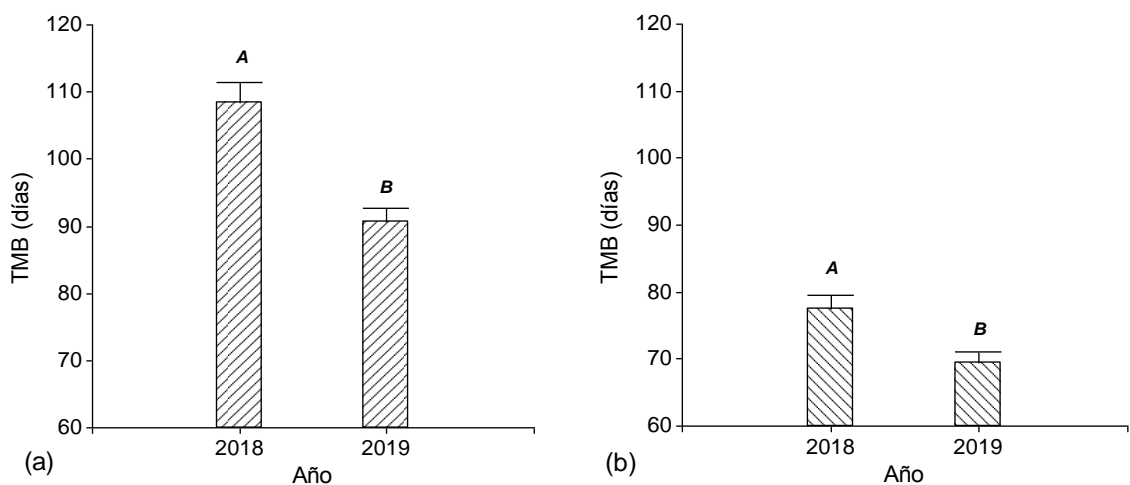


Figura 2.8. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo (a) y pecan (b) para los años 2018 y 2019. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

La figura 2.9 muestra que, en las PEM de nogal europeo, la diferencia entre el Tiempo Medio de Brotación para los distintos niveles de acumulación de Unidades de Frío Utah Modificadas fue mayor en el año 2018 que para el año 2019, salvo para el tratamiento de mayor acumulación de frío. Esto último explica la interacción entre las variables.

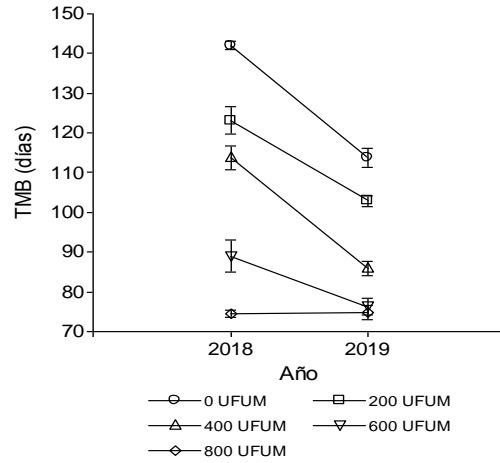


Figura 2.9. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.

El mismo comportamiento fue observado en las plantas de pecan, aunque en este caso fueron los dos tratamientos de mayor acumulación de frío en los que no se observó la misma tendencia (Fig. 2.10). Este comportamiento de los tratamientos de mayor acumulación de frío explica la interacción significativa entre las UFUM y el año.

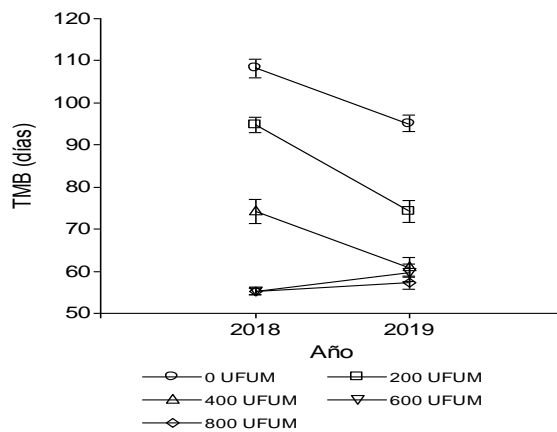


Figura 2.10. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.3. INFLUENCIA DEL CULTIVAR - AÑO SOBRE EL TIEMPO MEDIO DE BROTAÇÃO

2.4.3.1. Experimento I: varetas de un año

El TMB mostró diferencias significativas con respecto a los cultivares, el año de evaluación y la interacción entre ambos (Tabla 2.1; Tabla 2.2). Entre los cultivares evaluados de nogal europeo, 'Chandler' resultó ser el de mayor TMB en comparación a 'Trompito INTA' (Fig. 2.11a), siendo la diferencia importante en términos relativos (+20 %).

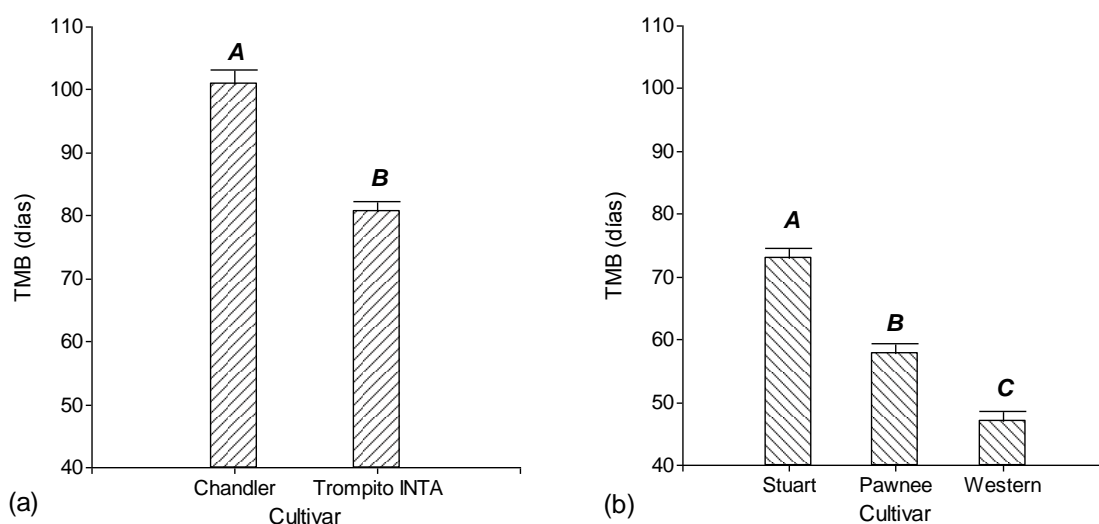


Figura 2.11. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo (a) cv. 'Chandler' y 'Trompito INTA' y pecan (b) cv. 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western'. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Por otra parte, 'Stuart' resultó ser el cultivar de pecan con el mayor TMB en comparación a 'Pawnee' y 'Western' (Fig. 2.11 b), siendo la diferencia importante en términos relativos de +20 % y +35 %, respectivamente.

Por otro lado, las varetas del cultivar 'Chandler' siempre presentaron mayor tiempo medio de brotación que las del cultivar 'Trompito INTA', pero la diferencia entre 'Chandler' y 'Trompito INTA' fue mayor en el año 2019 que en 2018 (Fig. 2.12).

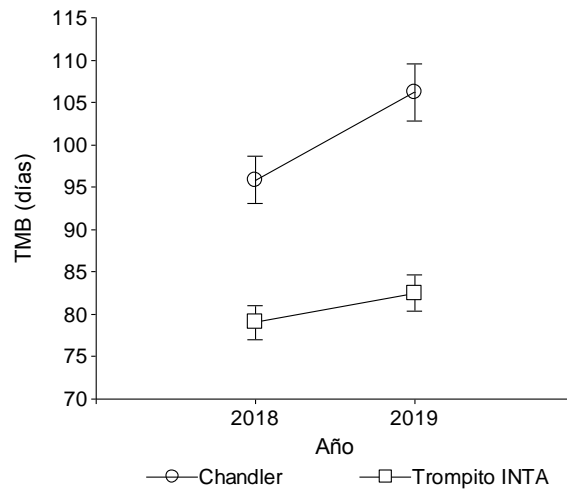


Figura 2.12. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.

En lo que respecta a los cultivares de pecan, ‘Stuart’ siempre presentó mayor TMB que el cultivar ‘Pawnee’ y ‘Western’, pero la diferencia entre los cultivares fue mayor en el año 2018 que en el 2019, debido a que el comportamiento del cultivar ‘Pawnee’ fue diferente según el año, lo cual explica la interacción significativa entre los cultivares de pecan y el año de evaluación (Fig. 2.13).

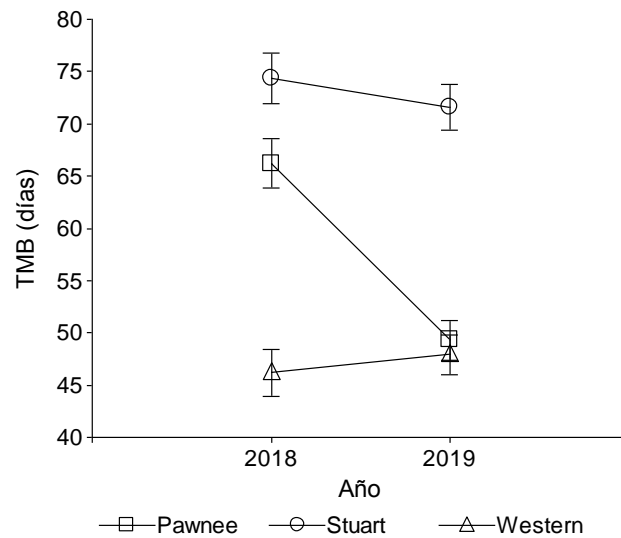


Figura 2.13. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.3.2. Experimento II: plantas en macetas

El TMB mostró diferencias significativas con respecto a los cultivares, el año de evaluación y la interacción entre ambos (Tabla 2.3; Tabla 2.4). Entre los cultivares evaluados de nogal europeo, las plantas de 'Chandler' resultaron ser las que mayor TMB presentaron en comparación a 'Trompito INTA' (Fig. 2.14a).

Por otra parte, 'Stuart' resultó ser el cultivar de pecan con el mayor TMB, luego le siguió 'Pawnee' y finalmente 'Western' con el menor valor (Fig. 2.14b).

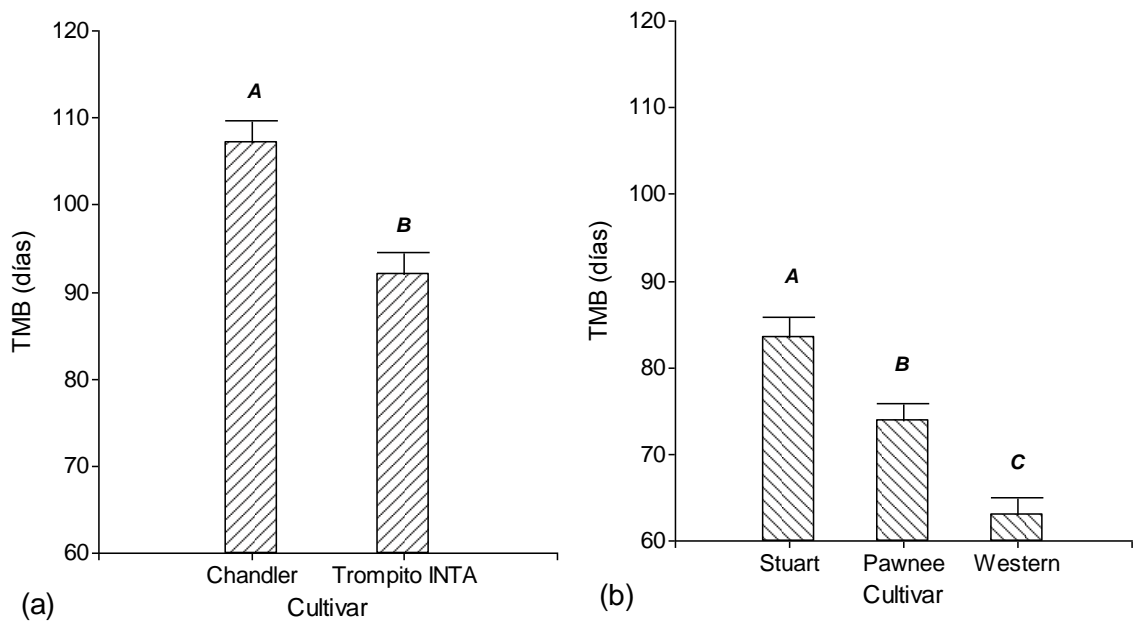


Figura 2.14. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de plantas en macetas de los cultivares de nogal europeo (a) cv. 'Chandler' y 'Trompito INTA' y pecan (b) cv. 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western'. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Por otro lado, las plantas de 'Chandler' siempre presentaron mayor TMB que el cultivar 'Trompito INTA' en los dos años de estudio, pero la diferencia entre ambos cultivares fue levemente mayor en el año 2018 que en el 2019 (Fig. 2.15).

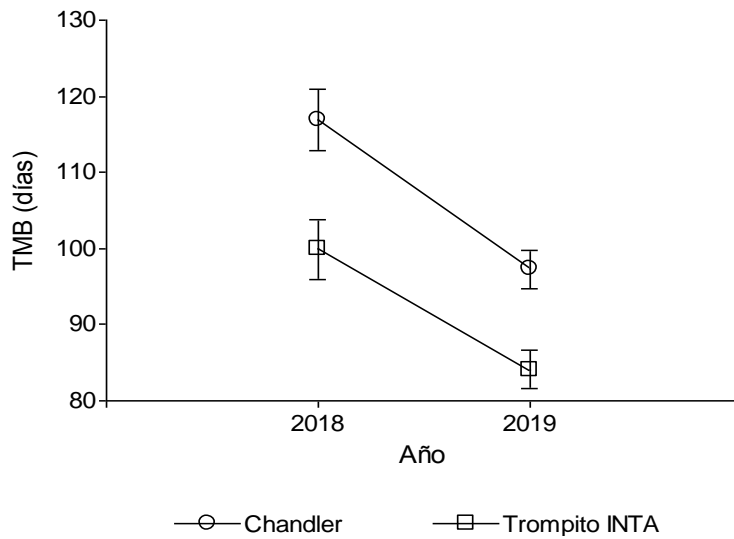


Figura 2.15. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en macetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.

En lo que respecta a los cultivares de pecan, ‘Stuart’ siempre presentó mayor TMB que el cultivar ‘Pawnee’ y ‘Western’, pero la diferencia entre los cultivares fue mayor en el año 2019 que en el 2018, debido a que el comportamiento del cultivar ‘Western’ fue diferente según el año, lo cual explica la interacción significativa entre los cultivares de pecan y el año de evaluación (Fig. 2.16).

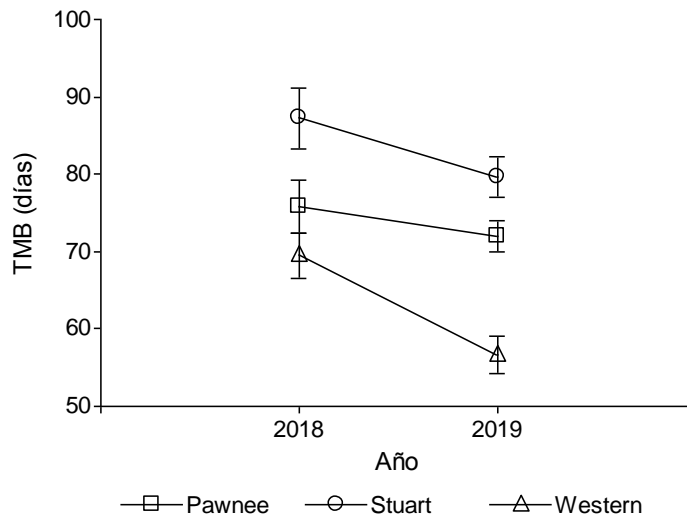


Figura 2.16. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en macetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.4. INFLUENCIA DEL CULTIVAR - TIPO DE YEMA SOBRE EL TIEMPO MEDIO DE BROTAÇÃO

2.4.4.1. Experimento I: varetas de un año

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debidas a los cultivares, al tipo de yema y a la interacción entre ambos (Tabla 2.1; Tabla 2.2). En nogal europeo (Fig. 2.17a) y pecan (Fig. 2.17b) las yemas laterales presentaron un TMB superior al de las yemas terminales.

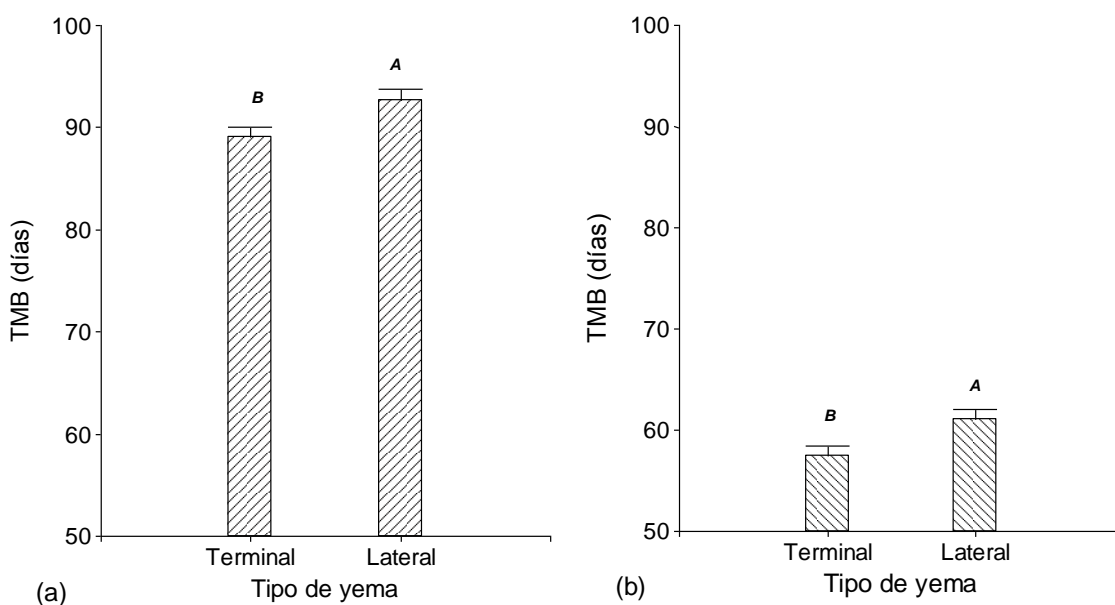


Figura 2.17. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Analizando el comportamiento en cada cultivar, en el caso del nogal europeo, el tiempo medio de brotación en las yemas laterales fue siempre mayor que en las yemas terminales al menos en un 4 % (Fig. 2.17a), pero esta diferencia fue más marcada en el cultivar 'Chandler' (Fig. 2.18).

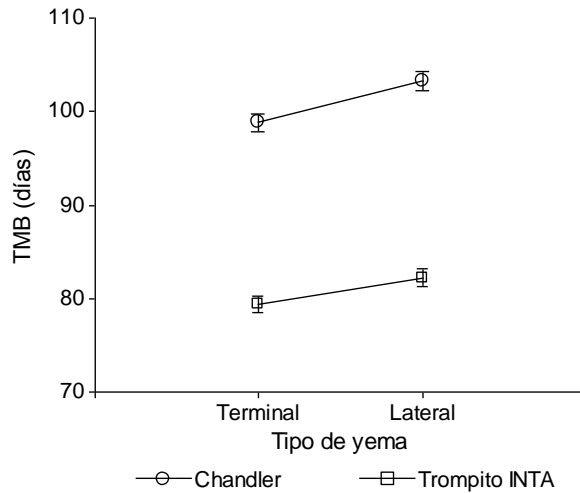


Figura 2.18. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar.

En los cultivares de pecan al igual que el nogal europeo, el TMB fue siempre mayor en las yemas laterales en al menos un 6 % (Fig. 2.17b), siendo esta diferencia más marcada en el cultivar ‘Stuart’ respecto a ‘Pawnee’ y ‘Western’ (Fig. 2.19). Independientemente del tipo de yema, ‘Chandler’ y ‘Stuart’ presentaron los valores de TMB más alto para cada tipo de nogal.

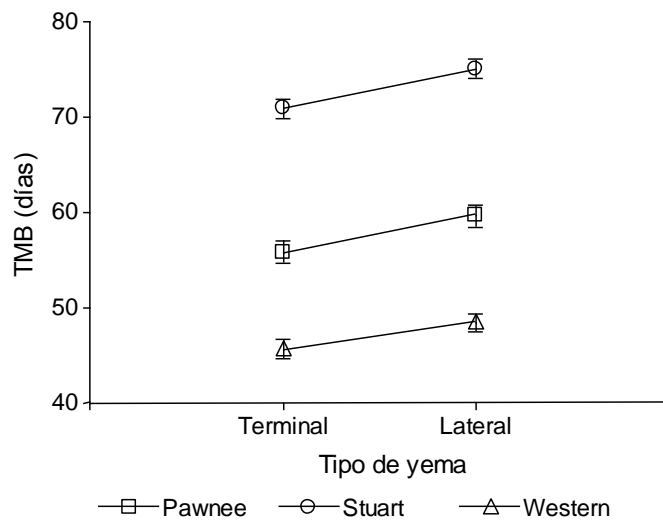


Figura 2.19. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.4.2. Experimento II: plantas en macetas

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debidas a los cultivares, al tipo de yema y a la interacción entre ambas variables (Tabla 2.4). En nogal europeo (Fig. 2.20a) y pecan (Fig. 2.20b) las yemas laterales presentaron un tiempo medio de brotación superior al de las yemas terminales.

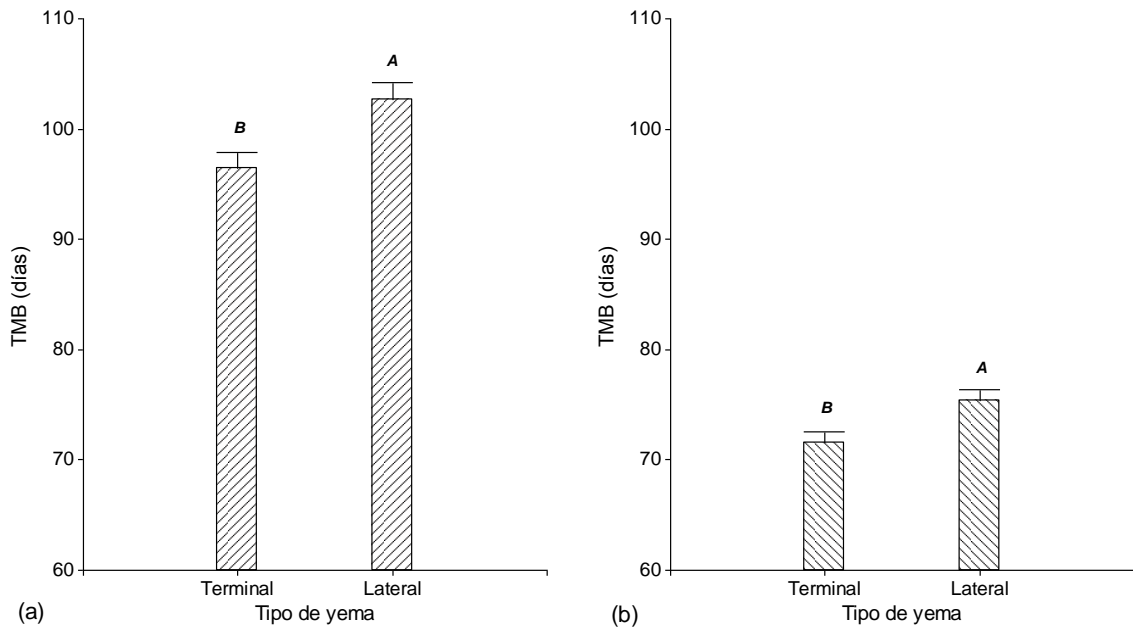


Figura 2.20. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Analizando el comportamiento en cada cultivar, en el caso del nogal europeo, el tiempo medio de brotación en las yemas laterales fue siempre mayor que en las yemas terminales al menos en un 6 % (Fig. 2.20a).

En nogal europeo la interacción entre el tipo de yema y los cultivares fue no significativa (Tabla 2.3), pero sí en pecan. En los cultivares de pecan el TMB fue siempre mayor en las yemas laterales en al menos un 5 % (Fig. 2.20b), siendo esta diferencia más marcada en el cultivar 'Stuart' respecto a 'Pawnee' y 'Western' (Fig. 2.21). El TMB de los cultivares 'Stuart' y 'Pawnee' fue diferente según el tipo de yema, no así en 'Western', lo cual explica la interacción significativa entre los cultivares de pecan y el tipo de yema (Fig. 2.21).

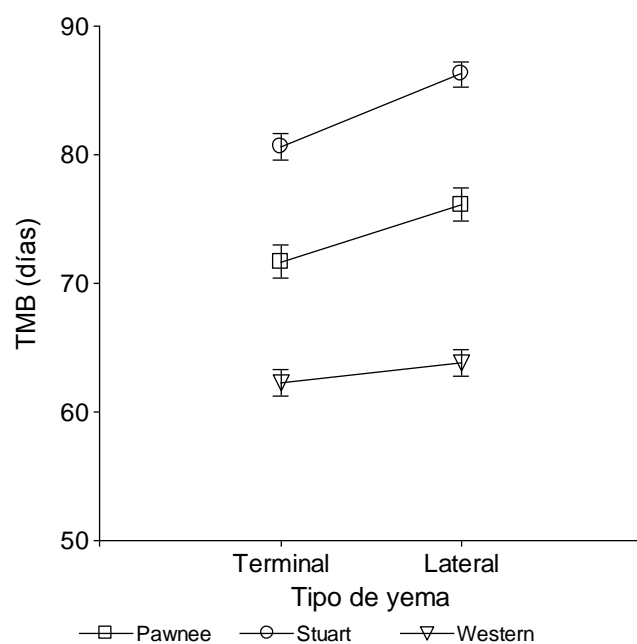


Figura 2.21. Efecto del cultivar y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.5. INFLUENCIA DE LAS UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADO - TIPO DE YEMA SOBRE EL TIEMPO MEDIO DE BROTACIÓN

2.4.5.1. Experimento I: varetas de un año

Se detectaron diferencias significativas en el TMB debidas a las UFUM, tipo de yema y a la interacción entre ambos (Tabla 2.1; Tabla 2.2). En nogal europeo (Fig. 2.22a) y pecan (Fig. 2.22b) la diferencia entre el tiempo medio de brotación para los distintos tratamientos de acumulación de unidades de frío Utah modificadas fue mayor en casi todos los casos en el tipo de yema lateral que para la terminal.

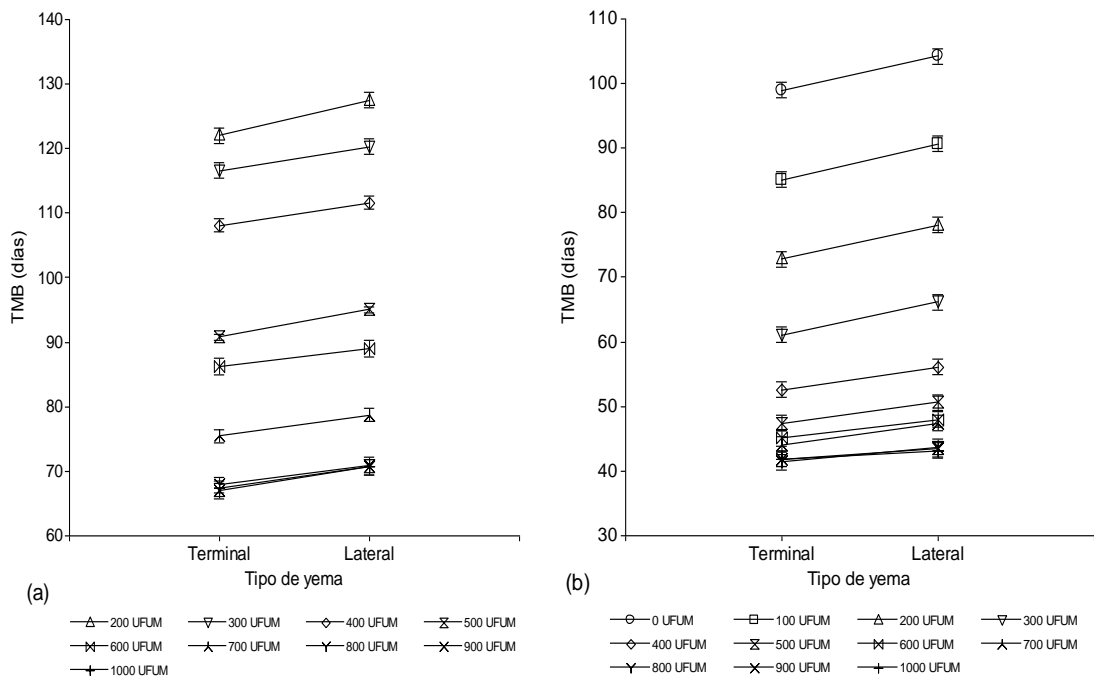


Figura 2.22. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo (a) y pecan (b). Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.5.2. Experimento II: plantas en macetas

Se detectaron diferencias significativas en el TMB debidas a las UFUM, tipo de yema y a la interacción entre ambas variables (Tabla 2.3; Tabla 2.4). En nogal europeo (Fig. 2.23a) y pecan (Fig. 2.23b) el tiempo medio de brotación para los distintos tratamientos de acumulación de unidades de frío Utah modificadas fue mayor en casi todos los casos en el tipo de yema lateral que para la terminal.

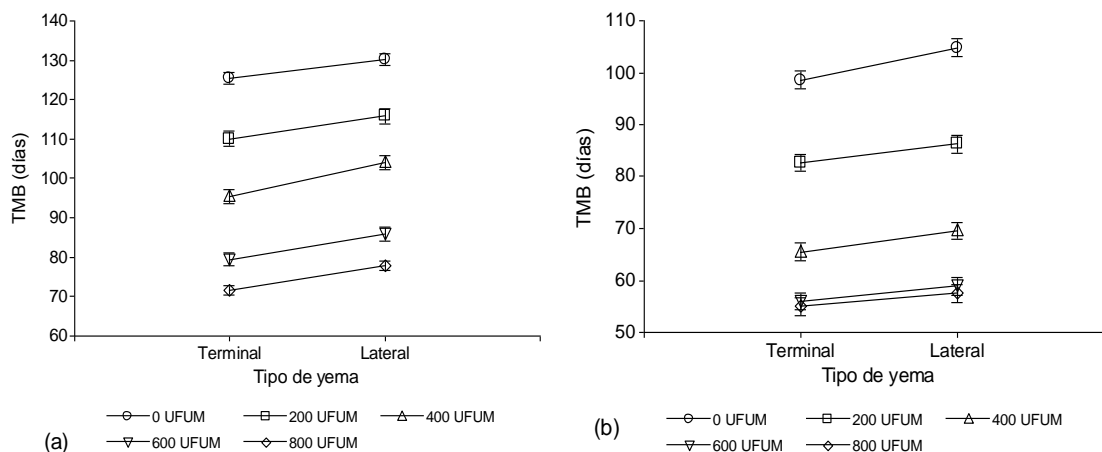


Figura 2.23. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM) y el tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo (a) y pecan (b). Las barras verticales representan el error estándar.

2.4.6. INFLUENCIA DE LAS UFUM * CULTIVAR * TIPO DE YEMA * AÑO

2.4.6.1. Experimento I: varetas de un año

La variable TMB mostró diferencias significativas con respecto a las Unidades de Frío Utah Modificadas, el Cultivar, el Tipo de yema, el Año y la interacción entre estos 4 factores (Tabla 2.1; Tabla 2.2). Para la interpretación de las interacciones entre cuatro factores, se tomó la interacción significativa entre tres de ellos (UFUM x Cultivar x Tipo de yema) y se comparó para el año 2018 y 2019 (Garrido García, 2008; Montgomery, 1991).

La figura 2.24 muestra que la diferencia entre el tiempo medio de brotación para la combinación del efecto de los tratamientos de acumulación de frío, los cultivares de nogal europeo y el tipo de yema es en general mayor en el año 2019 que el 2018, aunque existen algunas situaciones en el que no se presentó este comportamiento general, lo cual explica las interacciones. No obstante, en pecan este comportamiento fue distinto al del nogal europeo, ya que las diferencias en el TMB fueron en general mayores en el año 2018 y no en el 2019 (Fig. 2.25), aunque existen algunas situaciones en el que no se presentó este comportamiento general, lo cual explica también las interacciones en los cultivares de pecan.

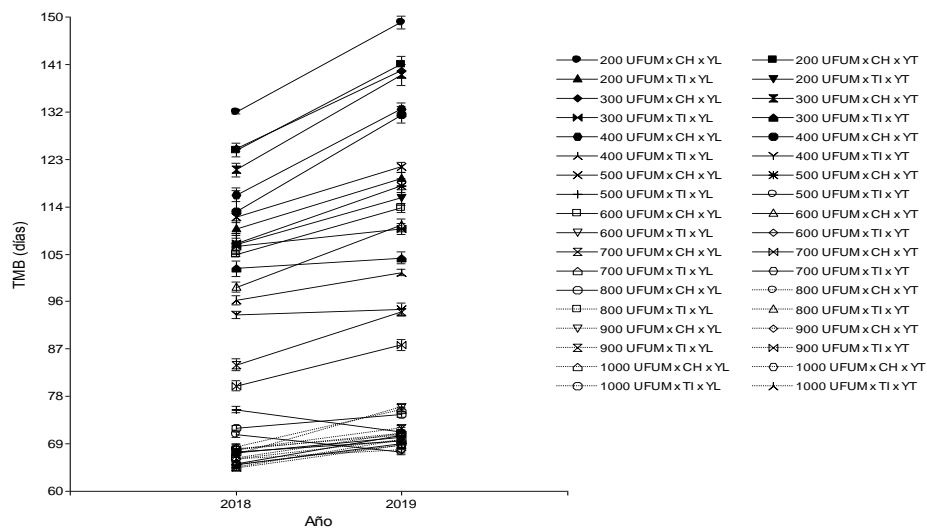


Figura 2.24. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar. CH: 'Chandler'; TI: 'Trompito INTA'; YT: Yema Terminal; TL: Yema Lateral.

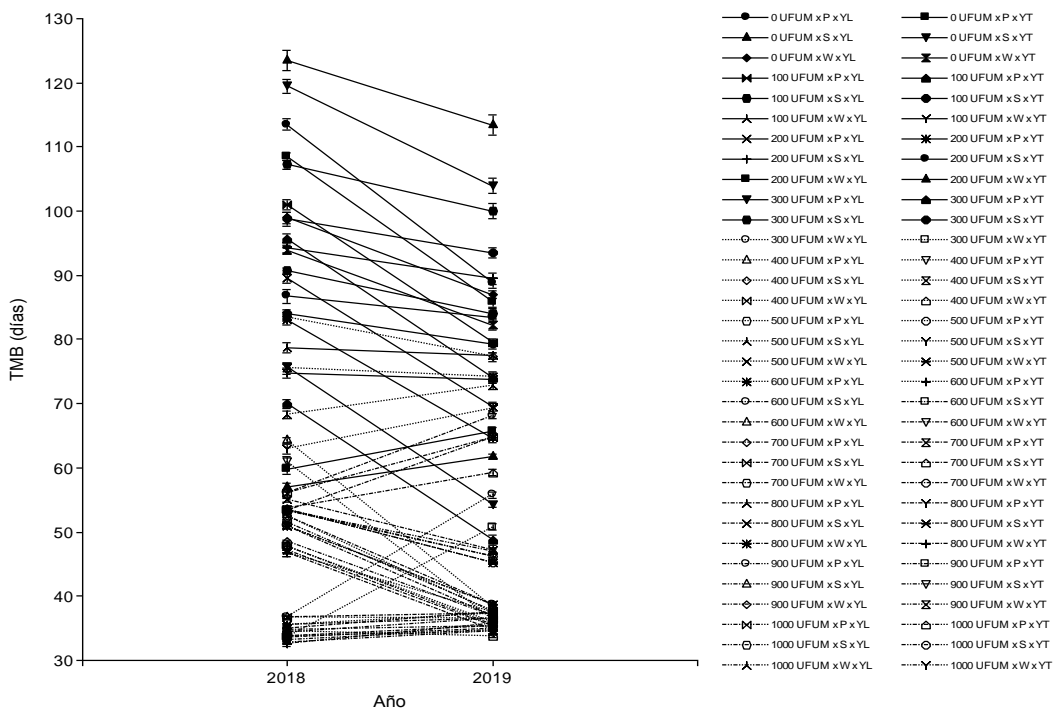


Figura 2.25. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan. Las barras verticales representan el error estándar. S: 'Stuart'; P: 'Pawnee'; W: 'Western'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Lateral.

2.4.6.2. Experimento II: plantas en macetas

La variable TMB mostró diferencias significativas con respecto a las Unidades de Frío Utah Modificadas, el Cultivar, el Tipo de yema, el Año, y la interacción entre estos 4 factores (Tabla 2.3; Tabla 2.4). Las interacciones entre 4 factores, al igual que en el experimento de varetas (Ver apartado 2.4.6.1) se presentan en la figura 2.26 para el nogal europeo y 2.27 para el pecan, y ya fueron explicadas en los apartados anteriores.

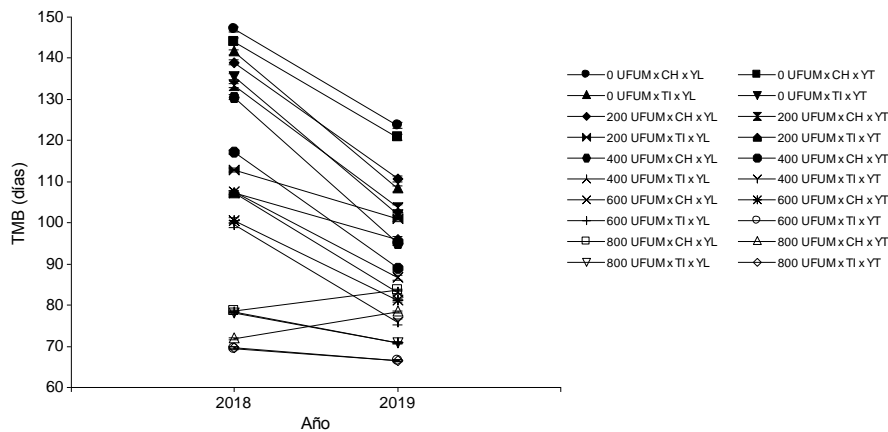


Figura 2.26. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de nogal europeo. Las barras verticales representan el error estándar. CH: 'Chandler'; TI: 'Trompito INTA'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Terminal.

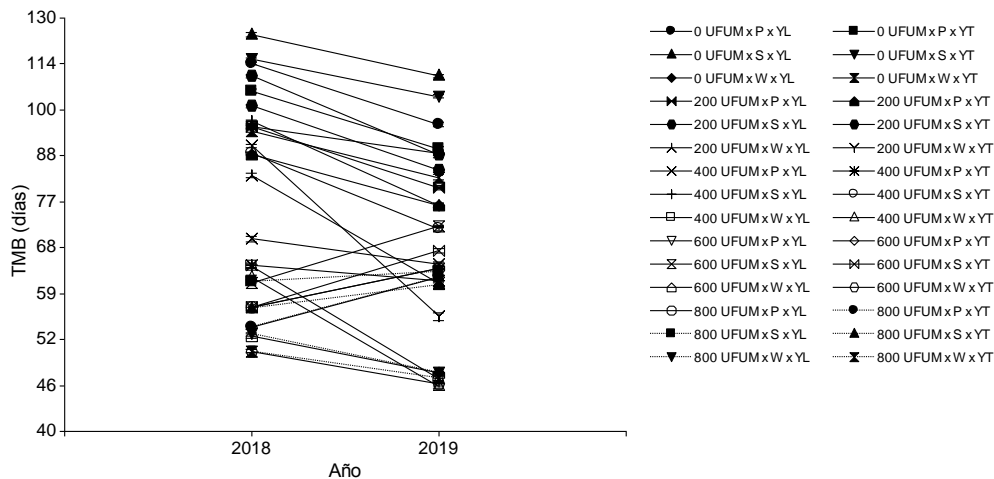


Figura 2.27. Efecto de las Unidades de Frío Utah Modificadas (UFUM), Cultivar, Tipo de yema y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de plantas en maceta de pecan. Las barras verticales representan el error estándar. S: 'Stuart'; P: 'Pawnee'; W: 'Western'; YT: Yema Terminal; YL: Yema Terminal.

En resumen, se observa que los cultivares, tanto en las VDA como en las PEM tuvieron un comportamiento en general semejante, es decir, que para ambos experimentos, 'Chandler' fue el cultivar de nogal europeo de mayor TMB, seguida de 'Trompito INTA'. Por otro lado, en los cultivares de pecan, 'Stuart', fue el de mayor TMB seguido por 'Pawnee' y 'Western'. Otro aspecto a resaltar es que el valor de TMB de las yemas laterales siempre fue más alto que el de las yemas terminales en los cinco cultivares estudiados. Balandier *et al.* (1993a), afirma que los primeros brotes influyen en las demás yemas cercanas que pueden permanecer inactivas. Según Viti *et al.* (2003) trabajando con damasco, también informaron diferencias en el nivel de la profundidad de dormición entre los brotes vegetativos de una misma rama.

2.4.7. REQUERIMIENTOS DE FRÍO

Se considera que los requerimientos de frío fueron satisfechos, tanto en VDA (Tabla 2.9; Tabla 2.10), como en PEM (Tabla 2.11; Tabla 2.12), cuando el tiempo medio de brotación no mostró diferencias significativas en respuesta a la acumulación creciente de UFUM.

El TMB de las yemas terminales y laterales de 'Chandler' no mostró diferencias significativas después de las 800 UFUM, es decir, que el TMB se estabilizó con acumulaciones de frío superiores a las 800 UFUM, en ambos años de estudio (Tabla 2.9; Tabla 2.10). En cambio, en el experimento II, se observó que el TMB de las yemas terminales y laterales de este cultivar no logró la estabilización con la máxima acumulación de frío (800 UFUM), en ambos años de estudio (Tabla 2.11; Tabla 2.12).

Tabla 2.9. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2018.

Cultivar	UFUM																					
	0		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	-	-	-	-	125a	132a	121a	125b	113b	116c	107b	112d	99c	105e	80d	84f	68e	72h	66e	67h	65e	68h
Trompito INTA	-	-	-	-	107a	110a	102b	107a	94c	96b	71d	76c	65e	67d	65e	68d	64e	66d	65e	68d	66e	68d
Stuart	120a	124a	99b	107b	87c	94c	84c	91c	76d	84d	63e	68e	53f	56f	54f	56f	54f	55f	53f	53f	53f	53f
Pawnee	109a	114a	96b	101b	83c	90c	70d	76d	61e	64e	48f	53f	47f	51f	47f	53f	47f	51f	48f	51f	49f	52f
Western	94a	99a	75b	79b	57c	60c	34d	37d	35d	37d	34d	36d	34d	37d	34d	35d	33d	36d	33d	34d	33d	34d

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.10. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2019.

Cultivar	UFUM																					
	0		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	-	-	-	-	141a	149a	139a	140b	131b	133c	118c	122d	111d	114e	88e	94f	71f	75g	68f	76g	69f	76g
Trompito INTA	-	-	-	-	116a	119a	104b	110b	95c	102c	68d	71d	70d	70d	69d	70d	69d	71d	70d	72d	70d	71d
Stuart	104a	114a	94b	100b	84c	90c	79d	84d	74e	77e	69f	73f	65g	68g	59h	65g	45i	47h	46i	47h	45i	46h
Pawnee	86a	89a	74b	80b	65c	70c	49d	54d	36e	38e	36e	38e	37e	39e	35e	39e	35e	37e	36e	39e	37e	38e
Western	82a	87a	74b	78b	62c	66c	51d	56d	34e	36e	35e	37e	35e	37e	35e	37e	36e	36e	35e	36e	35e	35e

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.11. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20 °C durante 140 días. Ciclo 2018.

Cultivar	UFUM									
	0		200		400		600		800	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	144a	147a	133b	139b	117c	130c	100d	108d	72e	78e
Trompito INTA	136a	142a	107b	113b	100c	107c	70d	78d	70d	78d
Stuart	116a	124a	101b	110b	89c	97c	57d	61d	57d	61d
Pawnee	106a	114a	88b	95b	64c	69c	54d	57d	54d	57d
Western	94a	96a	83b	90b	62c	64c	50d	53d	50d	53d

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.12. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en yemas vegetativas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de nogal europeo y pecan, forzados a temperatura de 20°C durante 140 días. Ciclo 2019.

Cultivar	UFUM									
	0		200		400		600		800	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	121a	124a	104b	111b	89c	95c	81d	87d	78e	84e
Trompito INTA	102a	108a	96b	101b	76c	83c	67d	71d	67d	71d
Stuart	104a	110a	84b	88b	71c	76c	67d	72d	65e	68e
Pawnee	90a	96a	76b	80b	62c	65c	62c	64c	62c	64c
Western	83a	89a	56b	61b	46c	47c	46c	47c	45c	47c

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

En cuanto a las PEM de ‘Trompito INTA’, en el año 2018 y 2019 el TMB de las yemas laterales y terminales se estabilizó a partir de acumulaciones de frío superiores a las 600 UFUM (Tabla 2.11; Tabla 2.12). Sin embargo, en el ensayo de VDA el comportamiento fue levemente distinto según el año. Para el año 2018 el TMB de las yemas laterales como terminales se estabilizaron a partir de acumulaciones de frío superiores a las 600 UFUM (Tabla 2.9), mientras que en el año 2019 lo hizo a partir de las 500 UFUM (Tabla 2.10).

Todos los cultivares de nogal europeo evaluados en el experimento I alcanzaron valores de TMB estables de las YT y YL entre el rango de tratamientos de frío utilizados en este experimento. Esta situación no ocurrió en el experimento II para el cv. ‘Chandler’, esta cierta inestabilidad puede estar relacionada a la

necesidad de una cantidad de UFUM mayor que los proporcionados en este experimento (Tabla 2.11; Tabla 2.12).

En las VDA y PEM de 'Chandler' y 'Trompito INTA', la estabilización del TMB en respuesta a la acumulación de frío se encuentra entre los 65 y 75 días. Esto estaría indicando que el requerimiento de sumas térmicas una vez satisfechos los requerimientos de frío son similares para ambos cultivares. Además, el TMB tampoco resulta demasiado diferente entre ambos cultivares al inicio del período de dormición, o sea previamente a la acumulación de frío. Por lo tanto, la principal diferencia entre ambos cultivares es la disminución del TMB con la acumulación de frío, resultando con una pendiente mayor en 'Trompito INTA', y por lo tanto satisfaciendo sus requerimientos con menor acumulación de frío. Estos resultados coincidieron con los documentados por Aslamarz *et al.* (2009) para el cultivar y genotipo de nogal europeo 'Hartley' y 'Z63', que una vez cubiertos los requerimientos de frío para 'Hartley' (1.000 HF) y 'Z63' (900 HF), los requerimientos de sumas térmicas fueron estadísticamente similares para ambos.

En general, cuando un cultivar tiene más requerimientos de frío, también tiene un TMB mayor al inicio de la dormición. Esta situación también se observó para otras especies de frutales caducos como los cultivares de durazno (Balandier *et al.*, 1993a; Gariglio *et al.*, 2006a) y damasco (Campoy *et al.*, 2011b), cosa que no es tan evidente entre 'Chandler' y 'Trompito INTA'.

Se considera que los requerimientos de frío fueron satisfechos cuando el tiempo medio de brotación no cambia significativamente en respuesta a la acumulación creciente de HF (Kovaleski, 2022), o cuando el porcentaje de brotación de las yemas supera el 50 %. De acuerdo al primer criterio los requerimientos de frío de los cultivares de nogal europeo se determinaron entre 500 y 800 HF. Estos resultados estuvieron de acuerdo con lo sugerido por Chandler *et al.* (1937), quienes mencionaron que el requerimiento de frío de los cultivares de nueces oscilaba entre 400 y 1.500 h por debajo de 7 °C. De acuerdo a estos autores, son pocos los cultivares de nogal europeo con requerimientos de frío menores a 800 HF, o si los hay no son de buen valor comercial, o son de reciente liberación de programas de mejoramiento genético, como por ejemplo el

cultivar 'Damavand' (antes genotipo iraní 'Z30') con requerimientos de frío de 650 HF (Aslamarz *et al.*, 2009; Hassani *et al.*, 2020). Entre los cultivares de bajos requerimientos de frío y con buen valor comercial se puede mencionar a 'Sunland' (550 HF) y 'Serr' (650 HF) (Aslamarz *et al.*, 2009; Hassankhah *et al.*, 2017). En tal sentido a partir de los datos obtenidos se destaca la importancia del cv. 'Trompito INTA' por su altísima calidad comercial (Cittadini *et al.*, 2020) y por sus bajos requerimientos de frío (Carabajal *et al.*, 2021). De acuerdo a la clasificación realizada por Aslamarz *et al.* (2009) podría catalogarse a 'Trompito INTA' como un cultivar de nogal europeo de bajos requerimientos de frío.

Es importante resaltar que los resultados obtenidos contribuyen a lo informado por Carabajal (2015a) quien menciona que los datos disponibles para los requerimientos de frío y calor de los genotipos INTA, no han sido establecidos aun y deben de determinarse para poder establecer los sitios más adecuados para su cultivo.

Por otro lado, en los cultivares de pecan los valores de TMB de 'Stuart' se estabilizaron a partir de las 600 y 800 UFUM para el año 2018 y 2019, respectivamente (Tabla 2.9; Tabla 2.10). 'Pawnee' alcanzó valores de TMB estables en el año 2018 tanto en YT y YL a partir de acumulaciones de frío superiores a las 500 UFUM, mientras que en 2019 lo hizo después de las 400 UFUM. Acumulaciones de UFUM superiores no produjeron diferencias estadísticas significativas (Tabla 2.9; Tabla 2.10). Finalmente 'Western' resultó ser el cultivar con menor profundidad de dormición. El valor de TMB se estabilizó con apenas 300 y 400 UFUM para el año 2018 y 2019, siendo el cultivar con los requerimientos de frío más bajo en este estudio (Tabla 2.9; Tabla 2.10).

Por otro lado, las PEM de 'Pawnee' y 'Western', alcanzaron valores de TMB estables en el año 2018 tanto en YT y YL a partir de acumulaciones de frío superiores a las 600 UFUM, mientras que en 2019 lo hizo después de las 400 UFUM (Tabla 2.11; Tabla 2.12). Para 'Stuart', el TMB se estabilizó a partir de las 600 UFUM para el año 2018 (Tabla 2.11), y en el 2019 no se alcanzó un valor de TMB estable, con acumulaciones de 800 UFUM (Tabla 2.12).

Es conocido que las yemas terminales requieren menos enfriamiento que las yemas laterales (Scalabrelli y Couvillon, 1986; Tabuenca, 1964). Sin embargo, en este estudio tanto las yemas terminales como las laterales alcanzaron el punto final de la endodormición con el mismo requerimiento de frío indicando que sus requerimientos de frío son los mismos. En cambio, lo que es diferente entre ambos tipos de yemas es la profundidad de la dormición (valor de TMB), siendo mayor en las yemas laterales que en las terminales, lo que está en concordancia con trabajos anteriores (Champagnat, 1983; Crabbé y Barnola, 1996; Mauget y Rageau 1988; Williams *et al.*, 1978). Por lo tanto, no debe confundirse los requerimientos de frío con la profundidad de la dormición de ambos tipos de yemas.

Una de las principales diferencias en pecan con las PEM, es que las diferencias entre años se hacen más evidente en todos los cultivares, no solo en 'Pawnee' como ocurría con las VDA. Por otro lado, el TMB se estabilizó en valores más altos de UFUM en 'Pawnee' y 'Western' respecto de las VDA. Esto no fue observado en el nogal europeo.

La gama de requerimientos de frío de los cultivares de pecan estudiados variaron de 300 a 800 UFUM (HF). Los resultados obtenidos están de acuerdo a lo indicado por Grageda Grageda *et al.* (2013), quienes destacan que los requerimientos de frío en pecan no han sido debidamente precisados, no obstante, menciona que en términos generales el pecan requiere de 400 a 1.000 horas frío (≤ 7.2 °C), según el cultivar. Mientras que Faraçlar (1988) informó que fue de alrededor de 400 a 800 horas de frío.

De manera similar, El Deen y El Deen (1993) y McEachern *et al.* (1978) indicaron que los requerimientos de frío de los cultivares de nuez eran de 300 a 500 HF para 'Desirable', 'Mahan', 'Success' y 'Western', y 600 HF para 'Stuart'. En otro estudio, Amling y Amling (1980) informaron que los requerimientos de frío de 'Mahan', 'Success', 'Desirable' y 'Western' eran de 300 a 400 h y de 700 a 1000 h para 'Stuart'.

Las diferencias entre los resultados observados en el requerimiento de frío en 2018 y 2019 puede deberse a diferentes factores durante la temporada de crecimiento, tales como luz (Hernández *et al.*, 2021), nutrición vegetal (Brighenti, 2012; Fadón *et al.*, 2018), que pueden cambiar el requerimiento de frío de un año a otro (Fernández *et al.*, 2020; Tominaga *et al.*, 2022). En condiciones de campo de la EEA Catamarca la inducción a la dormición de las VDA de los cultivares de nogal europeo y pecan se relacionó inversamente con la temperatura al momento de la caída de las hojas, siendo la dormición menos profunda en el año más frío, y este fenómeno se repitió analizando la profundidad de la dormición en nogales cultivados en diferentes localidades de la provincia (Ver capítulo 3). Debido a que la caída de hojas es más tardía en el pecan (alrededor de 15 días), es posible explicar que las diferentes temperaturas registradas a lo largo de los años estudiados afectaron de manera diferente a ambas especies.

Por otra parte, las temperaturas dentro del invernadero estuvieron controladas por el panel de comandos. Sin embargo, las plantas de nogal europeo y de pecan empleadas para el ensayo se trajeron de otra región, lo cual puede explicar una profundidad de dormición diferente, al menos para el primer año.

2.4.8. PORCENTAJE DE BROTAÇÃO

Se observó que en todos los cultivares, tanto de nogal europeo como de pecan, el porcentaje de brotación de las yemas aumentó significativamente con la acumulación de frío (Tabla 2.13 y 2.14). Estos resultados son consistentes con los encontrados en cultivares y genotipo de nogal europeo (Aslamarz *et al.*, 2009; Hassankhah *et al.*, 2017; Vahdati *et al.*, 2012). También, similares resultados fueron reportados para plántulas de pecan (Wang *et al.*, 2022). Para otras especies como el pistacho (*Pistacia vera* L.) y el damasco se observó el mismo comportamiento (Anders y Duran, 1999; Rahemi y Pakkish, 2009).

Sin embargo, este comportamiento es opuesto al observado en cultivares de duraznero y peral, ya que a medida que aumentaba el enfriamiento se reducía el porcentaje de brotación en cultivares de bajo requerimiento de frío, luego de haber alcanzado un valor máximo (Brighenti, 2012; Gariglio *et al.*, 2006a). Estos

síntomas también se observaron en brotes de cultivares de durazno de bajo requerimiento de frío del programa de mejoramiento del sur de Brasil, que se enfriaron durante 800 h y el efecto se atribuyó a una lesión fisiológica de brotes causada por una exposición más prolongada a bajas temperaturas (Citadin *et al.*, 2001).

En el experimento de VDA, 'Trompito INTA' mostró muy bajo o nulo porcentaje de yemas brotadas cuando acumularon menos de 400 UFUM para los dos años. Mientras que 'Chandler' el bajo porcentaje de brotación se registró a valores inferiores a 600 y 700 UFUM según el año (Tabla 2.13; Tabla 2.14).

Idéntico resultado se obtuvo con las PEM de 'Chandler' durante el año 2018. Sin embargo, para el año 2019 las PEM de nogal europeo sólo mostraron bajos porcentajes de brotación en los tratamientos de 0 y 200 UFUM (Tabla 2.15; Tabla 2.16).

En el caso del pecan, tanto las VDA como las PEM de 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western' mostraron brotación de las yemas laterales y terminales en ambos años incluso sin acumulación de frío. Además, en el año 2019 se observó un alto porcentaje de brotación (>50 %) en los tratamientos sin acumulación de frío en los dos últimos cultivares mencionados (Tabla 2.14; Tabla 2.16). En cambio, no hubo brotación de las YT y YL de la cv. 'Stuart' durante el año 2018 cuando no recibió tratamiento de frío (Tabla 2.13; Tabla 2.15), a diferencia del año 2019 (Tabla 2.14; Tabla 2.16). La situación de 'Stuart' para el año 2018, también fue informada por Citadin *et al.* (2002), en cultivares de duraznero.

En el caso de 'Western' se observaron porcentajes de brotación del 100 % a partir de una acumulación de apenas 100 UFUM (Tabla 2.13).

Tabla 2.13. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2018.

Cultivar	UFUM																					
	0		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	0 c	0d	0 c	0d	0 c	0d	0 c	0d	0 c	0d	0 c	0d	15 b	0d	95 a	76 c	100 a	94 b	100 a	100 a	100 a	100 a
Trompito INTA	0 c	0c	0 c	0 c	0 c	0 c	5 c	7 c	31 b	32 b	95 a	95 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Stuart	0 e	0 e	14 d	0e	54 c	44 d	66 b	57 c	95 a	70 b	100 a	96 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Pawnee	0 d	14 d	34 c	14 d	67 b	54 c	96 a	92 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Western	30 b	34 b	96 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.14. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzados a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2019.

Cultivar	UFUM																					
	0		100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	0 c	63 b	41 b	96 a	96 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Trompito INTA	0 c	0d	0 c	0d	0 c	0d	5 c	0 d	41 b	24 c	97 a	94 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	
Stuart	5 d	14 e	44 c	26 d	72 b	54 c	79 b	84 b	100 a	94 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Pawnee	60 c	50 c	90 b	86 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Western	86 b	58 c	97 a	74 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.15. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzadas a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2018.

Cultivar	UFUM									
	0		200		400		600		800	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	0 c	0b	0 c	0b	0 c	0b	10 b	0b	100 a	100a
Trompito INTA	0 c	0 b	0 c	0 b	30 b	0 b	100 a	100 a	100 a	100 a
Stuart	0 d	0 c	10 c	2,5 c	60 b	55 b	100 a	100 a	100 a	100 a
Pawnee	10 c	14 c	60 b	39 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Western	40 b	25 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 2.16. Efecto de la acumulación de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) a 5 ± 2 °C sobre el porcentaje de brotación de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas de diferentes cultivares de nogal y pecan forzadas a 20 °C durante 90 días. Ciclo 2019.

Cultivar	UFUM									
	0		200		400		600		800	
	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL	YT	YL
Chandler	0 e	0 d	10 d	2,5 d	55 c	30 c	85 b	65 b	100 a	79 a
Trompito INTA	11d	0 d	30 c	11 c	93 b	71 b	100 a	100 a	100 a	100 a
Stuart	11 c	0 c	70 b	64 b	100 a	94 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Pawnee	58 b	30 c	100 a	75 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Western	70 b	56 b	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a

Las medias seguidas de diferentes letras en la misma fila difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Es importante destacar que para el año 2019 los cultivares con requerimientos de frío similares (de acuerdo a la estabilidad del TMB) mostraron diferentes respuestas en el porcentaje de brotación con la acumulación de frío, por ejemplo, ‘Chandler’ y ‘Stuart’ o ‘Pawnee’ y ‘Western’ tenían requerimientos de frío similares, pero ‘Stuart’ y ‘Western’ mostraron un porcentaje más alto de brotación (50 % o mayor) en una amplia gama de tratamientos de acumulación de frío comparados con ‘Chandler’ y ‘Pawnee’, respectivamente (Tabla 2.17). Esto también fue observado por Gariglio *et al.* (2006a) y Aslamarz *et al.* (2009) para algunos cultivares de duraznero y nogal europeo, respectivamente. Así, el empleo del método biológico que mide la respuesta de las yemas vegetativas proporciona mayor información sobre la caracterización del cultivar en comparación con los

datos tradicionales de cantidad de frío requerido, ya sean expresadas en horas de frío o unidades de frío.

Tabla 2.17. Rango de acumulación de frío en la que varetas de diferentes cultivares de nogal europeo y pecan expuestos a diferentes acumulaciones de frío (0 a 1.000 UFUM) mostraron un porcentaje de brotación superior al 50 %.

Cultivar	Años	Rango de acumulación de frío
Chandler	2018	700 - 1.000
	2019	800 - 1.000
Trompito INTA	2018	500 - 1.000
	2019	500 - 1.000
Stuart	2018	300 - 1.000
	2019	200 - 1.000
Pawnee	2018	200 - 1.000
	2019	100 - 1.000
Western	2018	100 - 1.000
	2019	100 - 1.000

Chariani y Stebbins (1994) consideran satisfecho el requerimiento de frío en cultivares de manzana y pera cuando al menos el 50 % de las yemas brotan después de 30 días. Por otro lado, de acuerdo a la acumulación de frío, Gariglio *et al.* (2006a) consideran que se alcanzan tasas de brotación superiores al 50 % en cultivares de duraznero y nectarinas después de los 45 días de forzado a temperatura constante de 20 °C. De acuerdo a los resultados obtenidos en el experimento de VDA se desprende que, de los cultivares de nogal europeo, ‘Trompito INTA’, fue el menos exigente en requerimientos de frío, necesitando 500 UFUM en ambos años, para lograr una tasa de brotación mayor e igual al 50 % (Tabla 2.13; Tabla 2.14). Resultados similares se obtuvieron en las PEM, donde los requerimientos de ‘Trompito INTA’ fueron de 400 y 600 UFUM en el año 2019 y 2018, respectivamente (Tabla 2.15; Tabla 2.16).

En cuanto, a ‘Chandler’ logró el 50 % de brotación cuando se lo sometió a 700-800 UFUM según el año (Tabla 2.13; Tabla 2.14). Al respecto de las PEM de ‘Chandler’ alcanzaron valores de brotación del 50 % o superior, en el año 2018 cuando acumularon 800 UFUM, y 600 UFUM en el 2019 (Tabla 2.15; Tabla 2.16).

Por otro lado, ‘Western’ demostró ser el cultivar de pecan menos exigente en términos de requerimientos de frío. Necesitando en el experimento I, solo 100 UFUM para una brotación adecuada en los 2 años (Tabla 2.13; Tabla 2.14).

Mientras que para el experimento II, requirió 200 UFUM para alcanzar tasas de brotación superiores al 50 % en los 2 años de evaluación (Tabla 2.15; Tabla 2.16).

Las varetas de los cultivares 'Pawnee' y 'Stuart' tuvieron sus requerimientos de frío satisfecho con 100-200 y 200-300 UFUM, según el año (Tabla 2.13; Tabla 2.14). Los requerimientos de frío de las PEM de los cultivares antes mencionadas fueron de 200 y 400 UFUM para el año 2019 y 2018, respectivamente (Tabla 2.15; Tabla 2.16).

Un alto enfriamiento (800 UFUM) provocó un aumento significativo en el porcentaje de brotación (cerca del 100 %) de las yemas terminales y laterales, independientemente del cultivo y el cultivar. Todos los cultivares probados en los dos ciclos alcanzaron la máxima brotación del 100 % de yemas terminales y laterales en algún momento durante el experimento, demostrando que la capacidad para brotar de las yemas no decae, como si fue observado en otras especies como en peral y duraznero (Brighenti, 2012; Gariglio *et al.*, 2006a).

Por otro lado, los ensayos con frío artificial indicaron una ligera sobreestimación del requerimiento de frío de las PEM respecto de las determinaciones en varetas (Tabla 2.18). También en esquejes de duraznero y cerezo las respuestas de brotación eran semejantes a la de las plantas adultas (Fadón *et al.*, 2020). Sin embargo, Dennis Jr. (2003) menciona que los esquejes de un solo nudo son de poca utilidad para determinar la respuesta de árboles completos, ya que el desarrollo de yemas en estos últimos se verá afectado por la inhibición correlativa, incluida la dominancia apical.

Una comparación entre los requerimientos de frío para los cultivares de nogal europeo y pecan, expresados como requerimientos de frío para lograr la estabilización del TMB o para alcanzar un porcentaje de brotación superior al 50 %, tanto en yemas terminales como laterales, y en dos años consecutivos, se presentan en la tabla 2.18.

Tabla 2.18. Requerimiento de frío de las varetas y plantas en macetas calculado para los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') y pecan ('Stuart', 'Pawnee' y 'Western'), para alcanzar la estabilización del tiempo medio de brotación (TMB) y una brotación superior al 50 % tanto en las yemas terminales (YT) y laterales (YL), y en 2 años consecutivos de estudio (2018 y 2019).

Cultivar	Años	Varetas		Plantas	
		TMB	^a 50 %	TMB	50 %
Chandler	2018	800	700	>800	800
	2019	800	800	>800	600
Trompito INTA	2018	600	500	600	600
	2019	500	500	600	400
Stuart	2018	600	300	600	400
	2019	800	200	>800	200
Pawnee	2018	500	200	600	400
	2019	400	100	400	200
Western	2018	300	100	600	200
	2019	400	100	400	200

a: 50 % de brotación de las yemas terminales y laterales a los 90 días de observación.

Para las varetas de los cultivares de nogal europeo no existen grandes diferencias según el criterio que se toma para la determinación de los requerimientos de frío. En cambio, en los cultivares de pecan las diferencias son marcadas según el criterio que se emplee. Gariglio *et al.* (2006a), destaca la importancia de emplear estas dos maneras de expresar los resultados ya que les permitió explicar la ocurrencia de la floración del duraznero después de la formación de las hojas en brotes no enfriados de la cv. 'San Pedro 16-33', debido a que el TMB de las yemas de flor y las vegetativas eran iguales cuando no acumularon frío. Esta es una razón adicional para usar el método de medición del tiempo medio de brotación versus el porcentaje de brotación para medir la respuesta al enfriamiento (Dennis Jr., 2003).

Sin embargo, esta diferencia observada entre el nogal europeo y el pecan en cuanto a los dos criterios empleados para determinar los requerimientos de frío otorgan una información adicional de gran importancia agronómica. En el caso del nogal europeo cuando no se cubrieron los requerimientos de frío hubo escasa o nula brotación tanto en las varetas como en las plantas en maceta. Esto implicaría que en el campo se manifiestan los síntomas de falta de frío. En cambio, en el pecan, aunque no se cubrieron los requerimientos de frío existió una adecuada brotación, o dicho de otra manera, no se manifiestan los síntomas de falta de frío

tanto en los ensayos de laboratorio (método biológico) como en el campo. Esta característica le permitiría al pecan un buen comportamiento agronómico en un amplio rango de acumulación de frío (ver tabla 2.17), lo cual no ocurre en el nogal europeo.

La información obtenida en esta experiencia no permite determinar cómo repercutirá la falta de frío en la calidad de las flores y en el cuajado de los frutos, ya que en muchos frutales de clima templado el frío invernal es necesario para la finalización de la diferenciación floral (Gariglio *et al.*, 2008). Así, en los frutales de carozo y pepita es posible diferenciar a simple vista las yemas de flor y de madera en el otoño. No obstante, durante el periodo de dormición se produce la diferenciación de los órganos sexuales. De este modo la fertilidad de las flores es afectada por las HF acumuladas, lo cual puede explicar en parte la caída de flores y frutos que ocurre en años con baja acumulación de frío invernal (Gariglio *et al.*, 2008).

Sin embargo, las yemas que llevan las flores femeninas del nogal son yemas mixtas (Iannamico, 2009). En este tipo de yemas, la aplicación de sustancias que rompen la dormición en situaciones de falta de frío no producen caída de flores y frutos (ej. vid) (Giovanni Lobos, 2014), como si ocurre en especies cuyas flores se originan a partir de yemas florales (ej. Duraznero) (Heide, 2008). En base a estos antecedentes, es de esperar que la calidad de las flores femeninas y el cuajado de los frutos en pecan no se vea afectado en situaciones de deficiencia de frío invernal, o al menos en un rango de deficiencia.

En la figura 2.28 y 2.29 se presenta la relación funcional entre el tiempo medio de brotación (TMB) y las unidades de frío Utah modificadas (UFUM) y el coeficiente de determinación R^2 de los cultivares de nogal europeo y pecan. Mediante el software TableCurve 2 se halló el modelo que mejor se ajusta a los datos obtenidos.

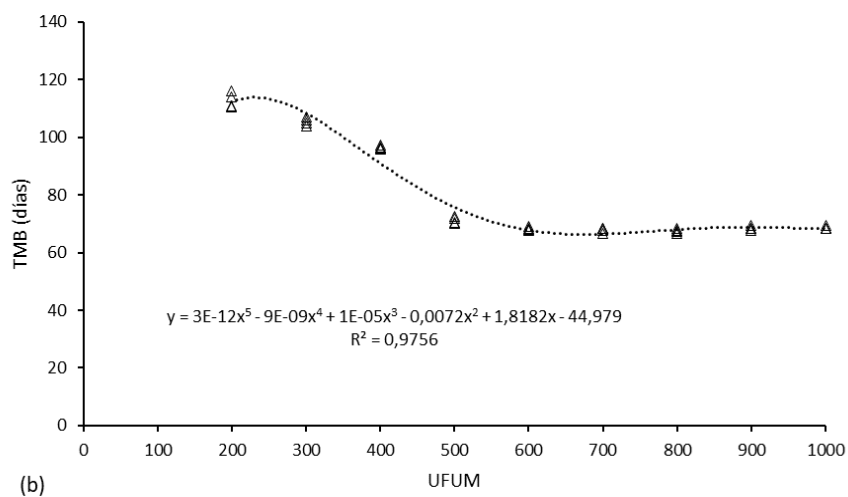
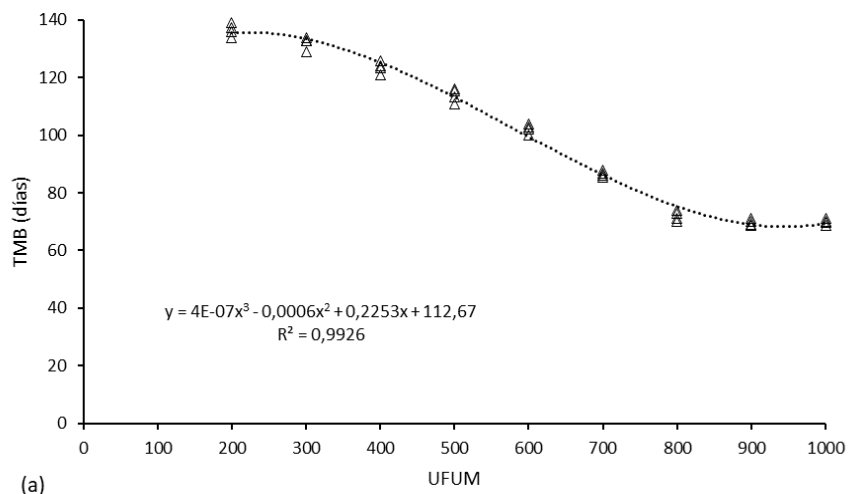


Figura 2.28. Valores medios observados y calculados de la evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de las varetas con la acumulación de frío para las yemas vegetativas de cultivares de nogal europeo: (a) 'Chandler'; (b) 'Trompito INTA'. Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019).

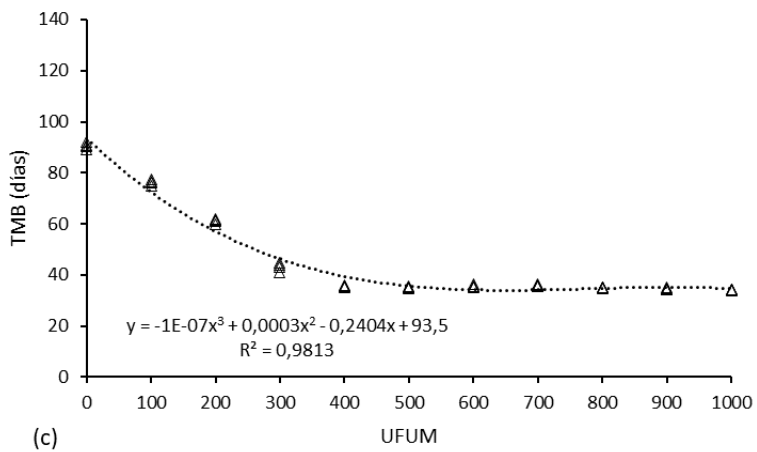
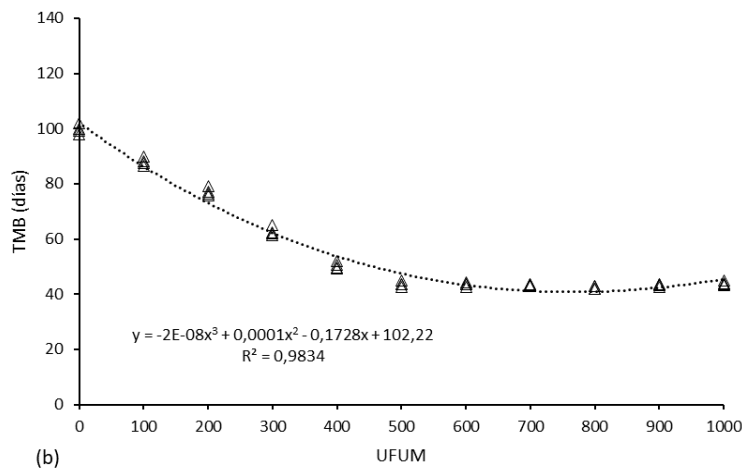
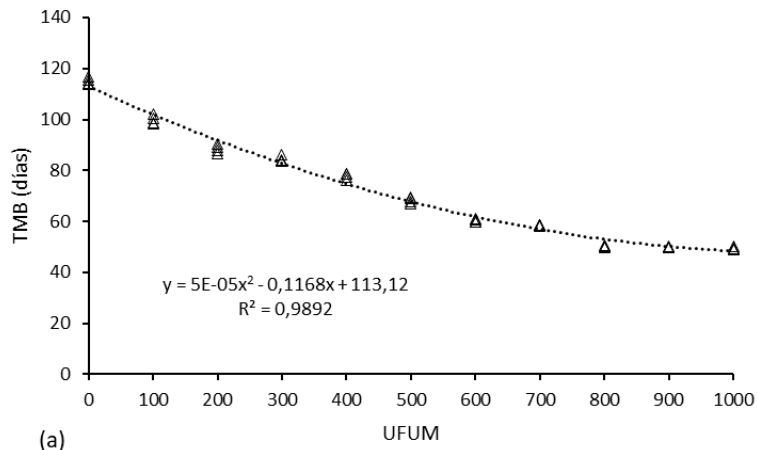


Figura 2.29. Valores medios observados y calculados de la evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de las varetas con la acumulación de frío para las yemas vegetativas de cultivares de pecan: (a) 'Stuart'; (b) 'Pawnee'; (c) 'Western'. Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019).

2.4.9. REQUERIMIENTOS DE CALOR

La acumulación de frío produjo una reducción del TMB, tanto de las yemas laterales como terminales. Con acumulaciones crecientes de frío, el TMB se redujo hasta estabilizarse, lo cual significa que fueron cubiertos los requerimientos de frío. En ese instante, el tiempo medio de brotación ya no hace referencia a la profundidad de la endodormición, sino al tiempo necesario para cubrir las sumas térmicas que cada tipo de yema y cultivar requiere para iniciar la brotación (Balandier *et al.*, 1993a; Gariglio *et al.*, 2006a; Sozzi *et al.*, 2008). O sea que al TMB, si lo convertimos en GDC expresa el requerimiento de calor (TMB constante multiplicado por la acumulación diaria de calor). El requerimiento de calor para iniciar la brotación es mayor cuanto más dormida esté la yema. En casos de una dormición muy profunda la brotación no ocurrirá, aunque se suministren excesivas unidades de calor, tal como fue observado en el nogal europeo con acumulaciones de 0 y 100 UFUM. Estos valores se hacen mínimos cuando los requerimientos de frío se cubren totalmente (Arnold, 1959; Citadin, 1999).

Los resultados obtenidos corroboran que los cultivares de nogal europeo y pecan, en reposo o parcialmente enfriados son capaces de brotar, pero requieren mucha más acumulación de calor en comparación con los cultivares en los que se superó los requerimientos de frío. Resultados similares fueron informado en duraznero (Richardson *et al.*, 1975), cerezo (Tersoglio *et al.*, 2006) y en algunos genotipos iraníes de nogal europeo (Aslamarz *et al.*, 2009).

Los cultivares de nogal europeo y pecan reaccionaron de diversas formas a los requerimientos de frío y calor para la brotación de las yemas vegetativas. El requerimiento de calor tanto en VDA como en PEM, disminuyó cuando los cultivares fueron sometidos a acumulaciones crecientes de UFUM, mostrando una relación inversa entre el efecto del enfriamiento y la necesidad de acumulación de calor para brotar. Estos resultados están de acuerdo con las sugerencias de Louzada (2012) y Spiegel-Roy y Alston (1979), quienes expresaron que el requerimiento de frío y de calor en el peral están estrechamente relacionados con el tiempo de brotación, aunque en otros casos se ha encontrado que los requerimientos de frío y de calor son interdependientes (Roschildt Sperling, 2021),

e incluso en diferentes variedades de duraznero, existe una relación inversa entre el efecto de la acumulación de frío y las necesidades de calor (Citadin *et al.*, 2001).

Las diferencias encontradas en los requerimientos de calor (GDC) entre las yemas terminales y laterales para los distintos cultivares de nogal y pecan, también fueron informadas por otros autores en cultivares de durazno (Citadin *et al.*, 2001; Scalabrelli y Couvillon, 1986), y de nogal europeo (Aslamarz *et al.*, 2009). Estas observaciones sugieren la participación de un componente genético en la cantidad de calor necesaria para la brotación (Scalabrelli y Couvillon, 1986). Por otro lado, Guerriero *et al.* (1987) sugirieron que las diferencias entre las yemas reproductivas y vegetativas podrían estar asociadas a mayores requerimientos de calor de las yemas vegetativas que las reproductivas. En las VDA de ‘Chandler’ las YT y YL necesitaron 680 y 720 GDC, en 2018 (Fig. 2.30a), mientras que para el año 2019 requirieron 705 y 745 GDC, respectivamente, para brotar (Fig. 2.30b). ‘Trompito INTA’ requirió entre 652-675 y 673-712 GDC (Fig. 2.30a y b).

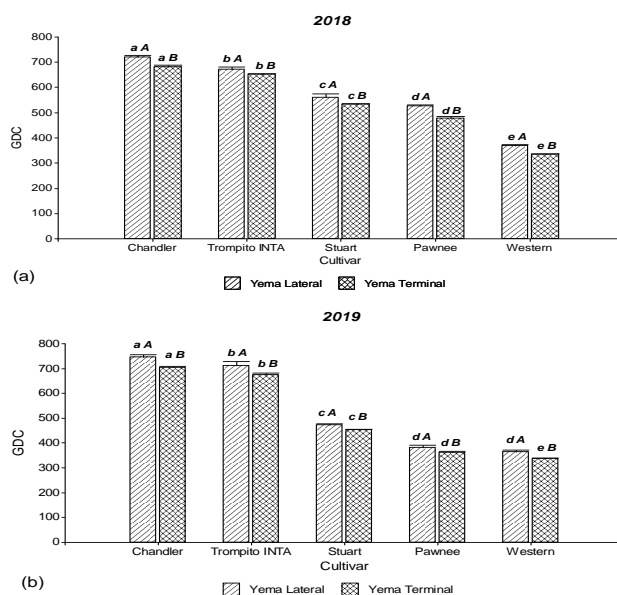


Figura 2.30. Requerimiento de calor de las yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas del año (VDA) para alcanzar la etapa fenológica “Cf” en nogal europeo (Germain y Lespinasse, 1999) y “V4” en pecan (Frusso, 2007), en 2 años sucesivos. a: 2018. b: 2019. Separación de media entre cultivares (letras minúsculas) y entre el tipo de yema dentro de los cultivares (letras mayúsculas) según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Se observó que 'Trompito INTA' fue el cultivar de nogal europeo con menos requerimientos de calor, alrededor de un 5 % menos que 'Chandler' (Fig. 2.30a y b). Además, se observaron diferencias significativas entre los cultivares en el número de GDC requeridos para iniciar la brotación en 2018 y 2019 (Fig. 2.30a y b). En 2018 el requerimiento de calor de las VDA de la cultivar 'Chandler', fue el más alto entre los cultivares estudiados, seguido de 'Trompito INTA', 'Stuart' y 'Pawnee', mientras que 'Western' tuvo el requerimiento más bajo; similar comportamiento fue observado para el año 2019. Por otro lado, se observó que el cultivar 'Western' requirió apenas un valor cercano al 50 % de las necesidades térmicas en comparación con 'Chandler' (Fig. 2.30a y b).

En las yemas vegetativas terminales se observó diferencias significativas entre los cultivares en la acumulación de GDC para iniciar la brotación (Fig. 2.30a y b). Solo las yemas laterales de 'Pawnee' y 'Western' con un bajo requerimiento de calor, no difirieron significativamente (Fig. 2.30b).

Por otro lado, las PEM de 'Chandler' fueron las de mayor requerimiento de GDC entre los cultivares de nogal europeo estudiadas durante los dos años (Fig. 2.31a y b). Entre las PEM de pecan, 'Western' fue el cultivar con el menor requerimiento de calor, seguida de 'Pawnee', mientras que 'Stuart' tuvo el requerimiento de calor más alto (Fig. 2.31a y b).

Según los resultados, 'Stuart', parece ser apropiado para el cultivo en las regiones con heladas tardías de finales de invierno o principios de primavera; Mientras que 'Pawnee' y 'Western', con menores requerimientos de calor, parecen inadecuados. Entre los cultivares de nogal europeo, 'Chandler' puede ser apropiado para la región con heladas de finales de invierno o principios de primavera, mientras que 'Trompito INTA', de brotación temprana, podría sufrir daños por heladas tardías.

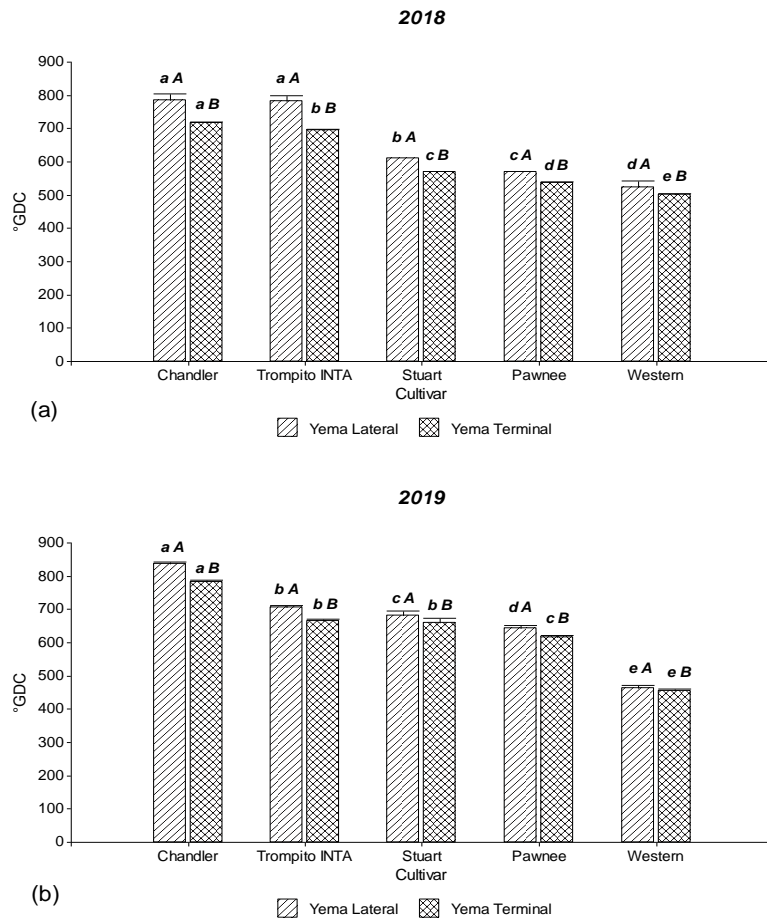


Figura 2.31. Requerimiento de calor de las yemas terminales (YT) y laterales (YL) de plantas en macetas (PEM) para alcanzar la etapa fenológica “Cf” en nogal europeo (Germain y Lespinasse, 1999) y “V4” en pecan (Frusso, 2007), en 2 años sucesivos. a: 2018. b: 2019. Separación de media entre cultivares (letras minúsculas) y entre el tipo de yema dentro de los cultivares (letras mayúsculas) según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

El método biológico empleando varetas proporcionó una buena estimación de la intensidad de la dormición de las yemas. Los resultados obtenidos permitieron observar una diferencia de comportamiento muy interesante entre el nogal y el pecan. En el caso del nogal europeo y pecan, este método presentaría la dificultad de no poder observar la floración femenina ya que las varetas del año se deshidratan una vez iniciada la brotación, debido a que no poseen sistema radicular (Dennis Jr., 2003), y las plantas jóvenes en maceta no florecen. Camargo Alvarez *et al.* (2018), consideró que el rápido desarrollo de las hojas y el crecimiento de los brotes de las varetas era una indicación del final de la dormición. Idealmente, el porcentaje de yemas que alcanzan la plena floración (yemas florales) o que se abren completamente (yemas vegetativas) sería un criterio útil, pero los esquejes a menudo agotan sus reservas y/o los vasos

conductores se taponan, antes de que estas etapas sean alcanzadas (Anzanello *et al.*, 2018).

Es importante mencionar que los antecedentes en nogal europeo, relacionados con el método de extracción de varetas es escaso, mencionando al trabajo de Aslamarz *et al.* (2009), en Karaj, Irán, quienes determinaron los requerimientos térmicos de diferentes genotipos locales utilizando varetas de un año. Otro trabajo reciente en esta especie es el desarrollado por Del Barrio (2020), quien estudio a partir de varetas del año el efecto de la acumulación de frío invernal y de calor primaveral en la ruptura de la dormición de yemas en los cultivares 'Chandler' y 'Franquette'. En cuanto a pecan, no se encontraron investigaciones relacionados con esta metodología, por lo cual se considera un avance de los resultados obtenidos en esta investigación, los cuales son muy alentadores demostrando el adecuado comportamiento de las varetas de nogal europeo y de pecan, que soportaron períodos muy prolongados de tiempo sin deshidratarse (cerca de 140 días en algunos casos). Por otro lado, si bien los resultados no fueron idénticos, las varetas aisladas permitieron una adecuada interpretación de la respuesta de las plantas de nogal europeo y de pecan a la acumulación de frío artificial, y no justifica el uso de plantas en macetas.

Por otro lado, también fueron limitados los antecedentes de acumulación artificial de frío con plantas de nogal europeo y pecan dispuestas en macetas. En el caso de nogal europeo, no se encontraron antecedentes relacionados, mientras que en pecan se puede mencionar el estudio realizado por Smith *et al.* (1992), en la estación experimental agrícola de Oklahoma, EE. UU, que consistió en exponer plantas de pecan en macetas del cultivar 'Dodd' a 6 °C, tendientes a lograr tratamientos desde 0 a 1.800 horas de frío, en intervalos de 300 horas. Los autores observaron que el cultivar 'Dodd' requería 900 HF para obtener un 50 % de brotación, y que con acumulaciones de frío mayor a 900 HF los días para el inicio de las brotación declinaron y la uniformidad de la brotación aumentó.

2.5. CONCLUSIONES

- El método biológico, utilizando varetas aisladas de nogal europeo y pecan resultó adecuado para determinar los requerimientos de frío y de calor.
- La acumulación artificial de frío permitió realizar comparaciones de la profundidad de la dormición entre especies y cultivares, y lograr una mejor comprensión del proceso fisiológico de la dormición. Algunos cultivares mostraron una alta brotación sin exposición al frío.
- El método biológico proporcionó información más valiosa que el simple dato de requerimiento de frío, permitiendo caracterizar y predecir el comportamiento de un cultivar en diferentes rangos de acumulación de frío.
- El requerimiento de frío utilizando plantas en maceta sobrestimó ligeramente los valores respecto de las determinaciones con varetas aisladas.
- La profundidad de la endodormición de las yemas laterales fue mayor al de las terminales, pero el requerimiento de frío para la estabilización del TMB fue similar. Por lo tanto, las yemas laterales presentan mayor requerimiento de calor que las yemas terminales en el periodo de ecodormición.
- Las altas exposiciones de frío artificial empleada en este experimento no provocaron una reducción del porcentaje de brotación, como si fue observado en otras especies.
- Los cultivares de nogal y pecan difieren en los requerimientos de frío y calor para la brotación de las yemas vegetativas. 'Western' tuvo el menor requerimiento de frío y calor. 'Pawnee', y 'Trompito INTA' mostraron requerimientos intermedios, y 'Stuart' y 'Chandler' tuvieron el mayor requerimiento de frío y de calor.
- El nogal europeo 'Trompito INTA' y los pecanes ('Pawnee' y 'Western') podrían utilizarse como alternativas para ambientes con similares

características. En ese caso la elección de una u otra especie pasará por decisiones empresarias.

- La estimación de los requerimientos de frío por el criterio de la estabilización del TMB y por un porcentaje de brotación superior al 50 % arrojó resultados muy cercanos para el nogal europeo pero muy disímiles para el pecan.
- El pecan mostró capacidad de alcanzar altos porcentajes de brotación a pesar de no haber saturado su respuesta al frío, cosa que no ocurrió en el nogal europeo.
- Los cultivares de pecan no presentan un requerimiento de frío tan estricto como el nogal europeo y por lo tanto pueden producir buenos cultivos incluso en años y sitios con acumulación de frío limitada.
- 'Trompito INTA' representa un cultivar de nogal europeo con requerimientos de frío entre 200 a 300 UFUM inferiores a los de 'Chandler', constituyéndose en una alternativa muy promisoría ante el cambio climático.
- El requerimiento de frío es un factor importante y decisivo para la producción comercial de cultivares de nogal europeo y pecan. Por lo tanto, los cultivares evaluados permitirían el cultivo de pecan y nogal europeo desde las 300 y 500 UFUM (HF), respectivamente, comparado con los cultivares tradicionales cuyos requerimientos están por encima de las 700 HF. Se pone de manifiesto que los cultivares 'Western', 'Pawnee' y 'Trompito INTA' parecen ser más adecuados para cultivar en sitios con clima de invierno más cálidos. Alternativamente, 'Stuart' y 'Chandler' podrían ser apropiados para cultivar en regiones más frías y especialmente con riesgos de heladas tardías de primavera. Estos materiales permitirían ampliar las actuales zonas de producción.

CAPÍTULO 3. PROGRESIÓN NATURAL DE LA DORMICIÓN Y LOS REQUERIMIENTO DE FRÍO INVERNAL Y DE CALOR EN CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO Y PECAN

CAPÍTULO 3

3. PROGRESIÓN NATURAL DE LA DORMICIÓN Y LOS REQUERIMIENTO DE FRÍO INVERNAL Y DE CALOR EN CULTIVARES DE NOGAL EUROPEO Y PECAN

3.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha introducido un elevado número de nuevas variedades de nogales originadas en zonas muy diferentes climáticamente de aquellas donde se cultivan, por lo que los riesgos asociados al desconocimiento de las necesidades de frío invernal se han incrementado notablemente, pudiendo producir importantes pérdidas económicas.

Ciertas especies frutales, como el nogal europeo y el pecan, poseen requerimientos que deben ser satisfechos para obtener producciones rentables. Entre ellas, es particularmente importante la exposición a bajas temperaturas durante la dormición, lo cual le permite obtener una brotación normal en la primavera siguiente (Gholizadeh *et al.*, 2017). La cantidad de frío requerido varía de acuerdo a numerosos factores, entre los cuales se citan el cultivar (Álvarez Bravo *et al.*, 2019).

Los árboles frutales caducifolios entran en un período de dormición durante los meses de invierno como una estrategia de adaptación para evitar condiciones desfavorables (Gonzalez Antivilo, 2018). Durante este período, se suspende todo el crecimiento visible en cualquier estructura de la planta que contenga un meristema (Considine y Considine, 2016).

La dormición no es un mecanismo logrado repentinamente por las plantas, sino un proceso progresivo desarrollado durante el otoño, aumentando su intensidad hasta alcanzar la llamada dormición profunda (Martinelli Echenique, 2016). La liberación de la dormición requiere la acumulación de una cierta cantidad de frío durante el período invernal (El Yaacoubi *et al.*, 2016; Fadón y Rodrigo, 2018; Melke, 2015) que puede ser reemplazado parcialmente por prácticas culturales o

compuestos químicos (Mohamed, 2008; Ramos Abbadie y Wlasiuk Pereira, 2019).

En las regiones templadas, los requerimientos de frío generalmente se satisfacen en gran medida antes del final de la estación fría, pero en las áreas subtropicales o tropicales, la ausencia de frío invernal adecuado prolonga la dormición (Mahmood *et al.*, 2000). Como es sabido, una variedad cultivada en áreas donde sus necesidades de frío no son adecuadamente satisfechas mostrará una inadecuada liberación de la dormición (Gariglio *et al.*, 2009; Hajinia *et al.*, 2021), generando problemas en la floración, fructificación y producción, así como de crecimiento vegetativo. La deficiencia de frío se traduce en síntomas como ser el retraso en la entrada en producción, excesivo uso de reservas, poco desarrollo foliar (Espada Carbo, 2010; Tersoglio *et al.*, 2006), deficiente desarrollo de flores (Kurokura *et al.*, 2013), brotación y floración errática y retardada (Fischer, 2013).

En situaciones en que cultivares de bajos requerimientos de frío se cultivan en áreas de inviernos fríos conduce a una brotación temprana, lo que aumenta la posibilidad de daños por heladas de finales de primavera (Bartolini *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2012; Gonzalez Antivilo, 2018; Hassankhah *et al.*, 2017).

Por lo mencionado, el período invernal es considerado el factor principal que controla el cese del crecimiento y la progresión de la dormición, y de su capacidad de adaptación agroecológica, en las especies leñosas de zonas templadas (Heide y Prestrud, 2005; Jacobs *et al.*, 2002).

Según Lang *et al.* (1987) la dormición puede ser determinada por diferentes factores: i) paradormición (regulada por factores fisiológicos fuera de la estructura afectada, es decir, inhibición correlativa); ii) endodormición (regulada por factores fisiológicos dentro de la estructura afectada); y iii) ecodormición (regulada por factores ambientales). De estos tres estados el más complejo es el de la endodormición y el medio más conocido para superarla es mediante la exposición a bajas temperaturas por períodos variables de tiempo (Baumgarten *et al.*, 2021; Erez, 1995; Tersoglio *et al.*, 2006).

Para cuantificar la acumulación de frío invernal, se han desarrollado varios modelos. El de Weinberger (1950), todavía ampliamente utilizado, es el más antiguo. El modelo de Utah (Richardson *et al.*, 1974), que es el más utilizado en la actualidad. Una unidad de frío (UF) se define como una hora a un determinado rango de temperatura que varía según el sistema de medición utilizado (Anderson *et al.*, 1986). Además, existen modelos para zonas de clima templado-cálido que contemplan rangos de temperatura llamadas intermedias, que se encuentran por encima del rango óptimo, las cuales pueden sustraer UF (Anderson *et al.*, 1986; Couvillon, 1995; Erez, 1995; Fishman *et al.*, 1987a y b; Norvell y Moore, 1982; Richardson *et al.*, 1974; Shaltout y Unrath, 1983; Sparks, 1993).

Por otro lado, el cambio climático en los últimos años ha afectado las tasas de acumulación de frío y calor, que son vitales para la floración y producción (Guo *et al.*, 2014; Ramírez y Kallarackal, 2015), por ello los investigadores han probado qué modelo de enfriamiento es el que mejor responde a su región de estudio (Luedeling *et al.*, 2009; Luedeling, 2012; Rahemi y Pakkish, 2009).

Hasta ahora, la acumulación de frío ha sido típicamente utilizada para estimar la profundidad y el progreso de la dormición de las yemas debido en gran parte a la ausencia de cambios visuales de las yemas durante la dormición y/o debido a la falta de marcadores endógenos disponibles para el estado de dormición (Arora *et al.*, 2003; Fadón *et al.*, 2018). Aunque el requerimiento de frío está determinado genéticamente, otros factores como la latitud, la elevación o las condiciones climáticas durante el inicio de la endodormición pueden afectar su valor (Campoy *et al.*, 2011a). Sin embargo, hasta la fecha, no se ha realizado ningún trabajo sobre la progresión natural de la dormición en diferentes condiciones climáticas en nogal europeo y pecan.

Varios autores han trabajado en la evaluación y simulación de la fecha de liberación de la dormición de diferentes frutales caducifolios. Estos estudios han utilizado parámetros físicos y fisiológicos como el peso de las yemas (Tabuenca, 1964), la etapa fenológica de brotación (Guerriero *et al.*, 2002; Ruiz *et al.*, 2007), la histología de las yemas (Bailey *et al.*, 1982), e histología y peso de la yema

después del forzado (Viti *et al.*, 2003), para determinar la fecha de ruptura de la dormición.

El método biológico es una técnica que proporciona una buena estimación de la dormición de las yemas. Hay muchas variaciones del mismo, ya que se pueden usar varetas del año (Citadin *et al.*, 1998; Citadin, 1999; Herter *et al.*, 2000), yemas individuales (Bianchi *et al.*, 2000; Herter *et al.*, 1992), y plantas en macetas (Camelatto *et al.*, 2000; Citadin *et al.*, 2001). Las diferencias entre los métodos están determinadas por el objetivo de investigación.

El método biológico es empleado para el estudio de la profundidad y evolución de la dormición (Balandier *et al.*, 1993a). Sin embargo, hay información limitada en este aspecto para nogal europeo y pecan. Entre los antecedentes en nogal europeo, relacionados con este método, está el trabajo de Aslamarz *et al.* (2009), en Karaj, Irán, quienes determinaron los requerimientos térmicos de diferentes genotipos locales utilizando ramas de un año. Otro trabajo reciente en esta especie es el desarrollado por Del Barrio (2020), quien estudio a partir de varetas del año el efecto de la acumulación de frío invernal y de calor primaveral en la ruptura de la dormición de yemas en los cultivares 'Chandler' y 'Franquette'. En cuanto a pecan, no se encontraron investigaciones relacionadas con esta metodología, por lo cual se considera un avance de gran importancia los resultados obtenidos en esta investigación.

En el capítulo anterior se determinó los requerimientos de frío y de calor de diferentes cultivares de nogal europeo y de pecan utilizando el método biológico y tratamientos de frío artificial. En este capítulo se pretende cuantificar, utilizando el método biológico, la evolución de la dormición de los mismos cultivares plantados en diferentes sitios de la provincia de Catamarca e interpretar las diferencias entre zonas y con los tratamientos de frío artificial.

3.2. OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue determinar la profundidad y evolución de la dormición en nogal europeo y pecan en las condiciones climáticas de las regiones productoras de nueces de la provincia de Catamarca, Argentina.

Para ello, se han planteado los siguientes objetivos específicos.

3.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

_Calcular la oferta de frío para las distintas zonas, mediante el modelo de horas de frío (HF) y unidades de frío Utah modificadas (UFUM).

_Determinar la progresión natural de la dormición en 2 cultivares de nogal europeo y en 3 de pecan, ubicados en distintas zonas de la provincia de Catamarca, Argentina.

_Determinar los requerimientos de frío y calor necesario para obtener una brotación adecuada de estos cultivares, mediante el método biológico (varetas de un año).

_Simular la evolución de la dormición en base a la respuesta fisiológica de los diferentes cultivares a la acumulación de frío y de calor.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. ZONAS DE ESTUDIOS

Los estudios se realizaron en 4 huertos ubicados a 28° de latitud sur, pero de localidades con diferente altitud. En dos fincas se cultiva nogal europeo y en las otras dos pecan.

Los huertos donde está implantado el nogal europeo están ubicados en el Departamento Paclín, localidad “Amadores” (Am) (786 m.s.n.m) y en el Departamento Pomán, localidad “Rosario de Colana” (RC) (1.676 m.s.n.m). Mientras que para el pecan las fincas están ubicadas en los Departamentos Valle Viejo, localidad “Las Tejas” (LT) (498 m.s.n.m), y Capayán, localidad “Colonia del Valle” (CV), (460 m.s.n.m) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Ubicación de los sitios de extracción de varetas de un año de los cultivares de nogal europeo y pecan.

Sitio	Ubicación	Altitud (m.s.n.m)	Cultivar	Edad (años)	Patrón
Amadores	28°27'89" LS	786	Chandler	16	J. regia
	65°62'43" LO		Trompito INTA	16	J. regia
Rosario de Colana	28°36'10" LS	1676	Chandler	20	J. regia
	66°15'78" LO		Trompito INTA	20	J. regia
Las Tejas	28°58'78" LS	498	Pawnee	6	Franco
	65°73'44" LO		Western	6	Franco
Colonia del Valle	28°69'39" LS	460	Stuart	12	Franco
	65°90'12" LO		Pawnee	12	Franco

3.3.2. MATERIAL VEGETAL

Para el nogal europeo, los cultivares con los que se trabajó fueron 'Chandler' y 'Trompito INTA'. Este último constituye un genotipo prometedor producto del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Catamarca, Argentina (Carabajal *et al.*, 2021). Para el caso de pecan, se utilizaron los cultivares 'Stuart', 'Western' y 'Pawnee'.

El experimento se realizó durante los años 2019 y 2020 forzando varetas extraídas en diferentes momentos del periodo invernal de los distintos huertos en cámaras de crecimiento de la Estación Experimental Agropecuaria Catamarca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Valle Viejo, Catamarca, Argentina (latitud 28°47'22" S; longitud 65°72'69" O; altitud 514 m.s.n.m).

3.3.3. PRUEBA DE VARETAS DE UN AÑO

3.3.3.1. Recolección de varetas en el campo

La recolección de las varetas de un año (VDA) de nogal europeo y pecan se realizó para cada huerto y cultivar a partir de mayo de 2019 y 2020, cuando el 50 % de las hojas habían caído (Aslamarz *et al.*, 2009; Gariglio *et al.*, 2006a). Durante los 2 años de estudio, para cada cultivar de ambas especies, finca y fecha de extracción, se recolectaron aleatoriamente 20 varetas de un total de 5 árboles (Balandier *et al.*, 1993b; Campoy *et al.*, 2011b), y las extracciones se repitieron cada 20 días, contabilizando 7 momentos de extracción a lo largo del

periodo de recolección de VDA. (Campoy *et al.*, 2011b; Gariglio *et al.*, 2012; Oukabli y Mekaoui, 2012; Tersoglio *et al.*, 2006).

Las últimas muestras de cada cultivar se tomaron cuando las yemas vegetativas comenzaron a alcanzar el estadio fenológico de brotación (ver apartado 3.3.3.3), “Cf” en nogal (Germain y Lespinasse, 1999) y “V4” en pecan (Frusso, 2007).

Las VDA consistieron en brotes de un año, de entre 30 a 40 cm de largo y 2 a 3 cm de diámetro, extraídas al azar del tercio superior de las plantas (Andrés y Durán, 1999). Sólo se mantuvo la yema terminal y una lateral, eliminándose las demás. Posteriormente se les aplicó una combinación de fungicidas (Carbendazin, Thiran) (Aslamarz *et al.*, 2009; Brighenti, 2012).

3.3.3.2. Acumulación de frío

Para evaluar el comportamiento del nogal europeo y el pecan en las condiciones ambientales, para el periodo de experimentación (2019-2020), se midieron las horas de frío reales y se calculó la acumulación de frío para las distintas zonas (huertos), mediante el modelo Utah modificado por la UC Davis, que utiliza el concepto de unidad de frío modificada (UFUM). Consiste en una ligera modificación de los rangos de temperatura propuestos por Richardson (Seeley, 1996), y el modelo de horas de frío (HF), el cual considera 1 HF cuando las temperaturas se encuentran por debajo de 7,2 °C, durante el periodo de una hora (Weinberger, 1950).

La ecuación para el modelo de horas de frío (Weinberger, 1950) se presenta a continuación:

$$HF_t = \sum_{i=1}^t T_{7,2}, \text{ con}$$
$$T_{7,2} = \begin{cases} T < 7,2^\circ C & = 1 \\ \text{demás} & = 0 \end{cases}$$

Las ecuaciones para el modelo de unidades de frío Utah modificado son las siguientes (Seeley, 1996).

$$UFUM_t = \sum_{i=1}^t T_{UFUM, con}$$

$$T_{UFUM} = \begin{cases} T \leq 1,1 \text{ } ^\circ\text{C} & :0 \\ 1,1 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 2,2 \text{ } ^\circ\text{C} & :0,5 \\ 2,2 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 8,9 \text{ } ^\circ\text{C} & :1 \\ 8,9 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 12,2 \text{ } ^\circ\text{C} & :0,5 \\ 12,2 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 15,5 \text{ } ^\circ\text{C} & :0 \\ 15,5 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 18,3 \text{ } ^\circ\text{C} & :-0,5 \\ T > 18,3 \text{ } ^\circ\text{C} & :-1 \end{cases}$$

Estos modelos requieren de temperatura horaria, es por ello que se recogieron las temperaturas por hora desde mayo a septiembre (Gao *et al.*, 2012) mediante un registrador de datos automático (Thermochron IButton DS1921G) instalado en las distintas fincas.

La fecha de inicio del conteo de la acumulación de frío se consideró cuando, se observó a campo un 50 % de caída de hojas en ramas marcadas (Aslamarz *et al.*, 2009; Gariglio *et al.*, 2006a). Las fechas de finalización de la acumulación de frío se calcularon sobre la base de los distintos modelos de cantidad de frío acumulado hasta que se superó la endodormición según lo indicado en el apartado 3.3.4. Por lo tanto, la fecha de finalización de la acumulación de frío fue la determinada según la metodología descrita en el apartado 3.3.5.

3.3.3.3. Etapa de Invernadero

Las varetas extraídas en diferentes momentos del período invernal de cada finca y cultivar fueron transportadas inmediatamente hasta las instalaciones de la Estación Experimental Agropecuaria Sumalao del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Catamarca, donde se realizaron los ensayos experimentales.

Las VDA fueron colocadas en el invernadero para forzar la brotación. Se las colocaron con sus extremos basales en recipientes de plástico de 500 cm³, que

contenía agua destilada y una solución de sacarosa al 5 % (Brighenti, 2012; Tersoglio *et al.*, 2006) (Ver anexo IV). Los extremos basales de las varetas se cortaron semanalmente para evitar la oclusión de los vasos y el agua se reemplazó diariamente (Balandier *et al.*, 1993a; Citadin *et al.*, 1998; Dennis Jr., 2003). El material vegetal se mantuvo en el invernadero con un fotoperíodo natural y a una temperatura de 15 °C por la noche con un máximo de 25 °C durante el día.

Se instaló un Data logger (CEM DT-172) en el invernadero de bioseguridad para controlar la posible variación de la temperatura y para calcular los grados días de crecimiento (GDC) acumulado (Richardson *et al.*, 1974) desde la etapa en que las VDA se transfirieron al invernadero hasta que las yemas alcanzaron el estado fenológico “Cf” en nogal (Germain y Lespinasse, 1999) y “V4” en pecan (Frusso, 2007). Se midió la evolución de la brotación de las yemas laterales (YL) y terminales (YT) tres veces por semana y las observaciones en cada vareta finalizó cuando las yemas alcanzaron los estados fenológicos antes mencionados.

Los GDC se calcularon como la sumatoria de la diferencia entre la temperatura media diaria (Tm) y la temperatura base de crecimiento (Tb) de cada especie de nogal. La temperatura media diaria se calculó como la media de la temperatura mínima y máxima diaria (Aslamarz *et al.*, 2009; Citadin *et al.*, 2003; Melgarejo Moreno, 1996). La temperatura base tanto para nogal como pecan fueron de 10 °C (Del Barrio y Martín, 2011; Luna Lorente, 1990; Michelini, 2018; Sierra *et al.*, 2007).

$$\mathbf{GDC} = \sum ((T_{\max} - T_{\min}) / 2) - T_b$$

GDC= Grados días de crecimiento acumulados

Tmax= Temperatura máxima

Tmin= Temperatura mínima

Tb: Temperatura base de crecimiento (10 °C)

Los resultados se expresaron como tiempo medio para brotación (TMB): número de días transcurridos entre la instalación del experimento en cada fecha de muestreo y la detección de la etapa fenológica “Cf” y “V4” (Balandier *et al.*, 1993a; Campoy *et al.*, 2011b). Para cada fecha de muestreo, se calculó el error estándar para el TMB (Balandier *et al.*, 1993a).

3.3.4. DETERMINACIÓN DEL VALOR TMB CORRESPONDIENTE AL PUNTO FINAL DE LA ENDODORMICIÓN

La acumulación de frío produce una reducción del TMB, tanto de las yemas laterales como terminales. Con acumulaciones crecientes de frío, el TMB se reduce hasta estabilizarse, lo cual significa que fueron cubiertos los requerimientos de frío (Champagnat, 1989; Charrier y Améglio, 2011). En ese instante, el tiempo medio de brotación ya no hace referencia a la profundidad de la endodormición, sino al tiempo necesario para cubrir las sumas térmicas que cada tipo de yema y cultivar requiere para iniciar la brotación (Balandier *et al.*, 1993a; Gariglio *et al.*, 2006a; Sozzi *et al.*, 2008).

Para el punto final de la endodormición de los cultivares estudiados, se consideró el valor de TMB estabilizado, obtenido en el experimento I (VDA) con acumulación artificial de frío (capítulo II).

3.3.5. DETERMINACIÓN DE LA FECHA CORRESPONDIENTE A LA FINALIZACIÓN DE LA LIBERACIÓN DE LA ENDODORMICIÓN

Los valores de TMB correspondientes al punto final de la endodormición, obtenidos en el capítulo II de esta tesis, se trazaron en las curvas de dinámica de TMB para determinar la fecha en la que la endodormición se liberó por completo en cada situación (Balandier *et al.*, 1993b). Otro criterio que se utilizó en este estudio para la determinación de la fecha de fin de la endodormición es el 50 % de varetas con yemas (terminal + lateral) brotadas al final de 90 días (Balandier *et al.*, 1993b).

3.3.6. SEGUIMIENTO DE LA BROTACIÓN A NIVEL DE ÁRBOL

El estudio de la fenología vegetativa para las distintas zonas, huerto y cultivar se realizó, seleccionando 5 árboles homogéneos en tamaño, vigor. Luego se

dividió la copa del árbol de acuerdo a los puntos cardinales, quedando la planta dividida en cuatro cuadrantes, en los cuales se eligieron 10 ramas terminales al azar, donde se registraron los estados fenológicos de brotación de las yemas vegetativa, mediante observaciones regulares realizadas durante el período de brotación. Los resultados se expresaron según el estado predominante (valor más frecuente o modal) (Gabino *et al.*, 2005). Todos los árboles recibieron prácticas culturales similares, como riego y fertilización.

3.3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado (DCA) con cuatro réplicas de cinco varetas para cada cultivar y fecha de muestreo (Oukabli y Mekaoui, 2012). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011). El análisis de varianza (ANAVA) fue calculado sobre el tiempo medio de brotación para cada tipo de nogal. Los factores estudiados fueron el “cultivar”, el “año”, el “tipo de yema” y la “fecha de muestreo”.

Se implementó la prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias. Las diferencias entre las medias al nivel del 5 % ($P < 0,05$) fueron consideradas como significativo. También se analizaron las variaciones en el TMB entre cultivares en términos de la evolución de la capacidad de crecimiento de las yemas (Oukabli y Mekaoui, 2012; Zguigal *et al.*, 2006).

Para las observaciones de ruptura de la dormición en las fincas se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco árboles por cultivar (repeticiones), cada árbol se tomó como unidad experimental. Las observaciones fenológicas se realizaron como se indica en el apartado 3.3.6.

La evaluación del ajuste de los modelos fue realizada teniendo en cuenta por un lado el ajuste de la predicción de la fecha del fin de la endodormición, y por otro, el ajuste de la predicción de la fecha de brotación (comparación de Días Julianos (DJ) observados y simulados) (Aybar, 2003).

Para ello, se empleó la metodología propuesta por Freese (Barrales *et al.* 2004) que fue utilizado en la evaluación de modelos forestales de crecimiento y

desarrollo. Consiste en probar la magnitud de las diferencias entre valores predichos y observados, bajo la distribución de Chi-cuadrado estableciendo un valor máximo de discrepancias. Se establecieron valores de discrepancia de 10, 15 y 20 días entre las fechas de fin de la endodormición; fecha de brotación a campo (simuladas) y las observadas.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. ACUMULACIÓN DE HORAS DE FRÍO Y UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADAS EN CONDICIONES DE CAMPO

La acumulación de frío en las condiciones de campo de este estudio generalmente comienza a mediados de mayo (Carabajal, 2015a). Los meses más eficientes para la acumulación de frío fueron junio, julio y agosto, aunque la segunda quincena de mayo también contribuyó considerablemente en algunas localidades como ser “Rosario de Colana” y “Amadores” (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Horas de frío (HF) mensuales reales por debajo de 7,2 °C, para distintas localidades de la provincia de Catamarca durante dos años consecutivos (2019/2020) ^a.

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
Rosario de Colana- 1676 m.s.n.m.					
2019	217	333	349	290	1189
2020	231	280	371	262	1144
Media	224	306,5	360	276	1166,5
D.E	9,9	37,48	15,56	19,8	31,82
CV (%)	4,42	12,23	4,32	7,17	2,73
Amadores- 786 m.s.n.m.					
2019	98	244	212	178	732
2020	165	208	312	204	889
Media	131,5	226	262	191	810,5
D.E	47,38	25,46	70,71	18,38	111,02
CV (%)	36,03	11,26	26,99	9,63	13,7
Colonia del Valle- 460 m.s.n.m.					
2019	86	224	241	167	718
2020	127	212	298	195	832
Media	106,5	218	269,5	181	775
D.E	28,99	8,49	40,31	19,8	80,61
CV (%)	27,22	3,89	14,96	10,94	10,4
Las Tejas- 498 m.s.n.m.					
2019	58	114	118	75	365
2020	36	108	183	77	404
Media	47	111	150,5	76	384,5
D.E	15,56	4,24	45,96	1,41	27,58
CV (%)	33,1	3,82	30,54	1,86	7,17

^a La fecha de acumulación de frío fue del 1 de mayo al 31 de agosto.

La acumulación de horas de frío para las distintas localidades varió entre los meses, siendo mayo el mes con la mayor variación, a excepción de “Rosario de Colana”, sitio en el que fue el mes de junio (Tabla 3.2).

La ubicación geográfica de cada área estudiada influyó considerablemente en las temperaturas y la acumulación de frío que se registraron. “Rosario de Colana”, se encuentra a 1.676 m sobre el nivel del mar, fue el área estudiada con la mayor acumulación de frío, mientras que “Las Tejas” fue la de menor acumulación de frío (Tabla 3.2). Estos resultados concuerdan con los encontrados previamente por Carabajal (2015a).

Tanto en “Amadores” como en “Colonia del Valle”, la variabilidad de la acumulación de frío fue muy alta cuando se utilizó el modelo de horas por debajo de los 7 °C. Aunque la localidad de “Amadores” se encuentra a una altitud mayor que “Colonia del Valle”, las acumulaciones de frío fueron muy semejantes (Tabla 3.2).

Por otro lado, comparando las localidades de “Colonia del Valle” y “Las Tejas” se observa que la acumulación de frío es menor en esta última, a pesar de que la altitud es ligeramente menor en “Colonia del Valle”. Aybar *et al.* 2015 menciona que la variación en la acumulación de frío para distintos sitios de la provincia de Catamarca estuvo relacionada con las diferencias en el drenaje de aire frío asociado con la microtopografía en y alrededor de cada sitio evaluado. Esto podría explicar las diferencias encontradas entre las localidades de “Las Tejas” y “Colonia del Valle” para el periodo evaluado. También explicaría las diferencias entre “Amadores” y esta última.

La oferta de frío en el periodo invernal en las regiones de producción de montaña, como lo es Catamarca, está asociada a la altura, pero también se deben realizar las evaluaciones in situ ya que como se mencionó anteriormente puede haber importantes diferencias asociados con la microtopografía en cada sitio (Aybar *et al.* 2015; Cólica, 2015).

En la tabla 3.3 se presenta la acumulación de frío entre el 1 de mayo y el 31 de agosto, medida por el modelo de unidades de frío Utah modificadas (UFUM).

Tabla 3.3. Unidades de frío Utah modificadas (UFUM) mensuales, para distintas localidades de la provincia de Catamarca durante dos años consecutivos (2019/2020) ^a.

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
Rosario de Colana- 1676 m.s.n.m.					
2019	252,5	261	307	199,5	1020
2020	185,5	307,5	296	177	966
Media	219	284,25	301,5	188,25	993
D.E	47,38	32,88	7,78	15,91	38,18
CV (%)	21,63	11,57	2,58	8,45	3,85
Amadores- 786 m.s.n.m.					
2019	118,5	204	247	136	705,5
2020	129	217	221	118,5	685,5
Media	123,75	210,5	234	127,25	695,5
D.E	7,42	9,19	18,38	12,37	14,14
CV (%)	6,0	4,4	7,9	9,7	2,0
Colonia del Valle- 460 m.s.n.m.					
2019	47	94,5	81	24	246,5
2020	34,5	104,5	59	17	215
Media	40,75	99,5	70	20,5	230,75
D.E	8,84	7,07	15,56	4,95	22,27
CV (%)	21,69	7,11	22,22	24,15	9,65
Las Tejas- 498 m.s.n.m.					
2019	71,5	114,5	95,5	30,5	312
2020	43	101,5	116	23	283,50
Media	57,25	108	105,75	26,75	297,75
D.E	20,15	9,19	14,50	5,30	20,15
CV (%)	35,20	8,51	13,71	19,83	6,77

^a La fecha de acumulación de frío fue del 1 de mayo al 31 de agosto.

La acumulación de UFUM para las distintas localidades varió entre los años, siendo “Amadores” y “Colonia del Valle” las de menor y mayor variación, respectivamente.

La variación entre años para las distintas localidades fue mayor en aquellas de menor altitud (Tabla 3.1 y Tabla 3.3), como lo es “Colonia del Valle” y “Las Tejas”. Estos resultados se compararon con los mismos sitios, pero para una serie de años más amplia (10 años) (Ver capítulo 4) y se ha obtenido el mismo comportamiento. Además, en “Colonia del Valle” y “Las Tejas” se observaron importantes diferencias entre los modelos de horas de frío y unidades de frío Utah modificadas. Esta situación también fue reportada previamente en otras áreas con inviernos suaves; por lo que el modelo de Utah no es aconsejable dado que se

desarrolló en una zona más fría (Botelho *et al.*, 2006; Erez, 2000; Erez *et al.*, 1990).

Por otro lado, en las localidades de mayor altitud la variabilidad entre años fue semejante al comparar los modelos de HF y UFUM (Tabla 3.2 y Tabla 3.3). Esta similitud se debe a que el huerto de “Amadores” está situado en una región interior fresca donde el modelo de UFUM puede ser útil. De manera similar, en “Rosario de Colana”, ubicada a 1.676 m.s.n.m., el modelo de UFUM puede ser empleado satisfactoriamente. Para estas áreas más frías el modelo de UFUM se adapta para la cuantificación del frío.

3.4.2. TIEMPO DE LA CAÍDA DE HOJAS Y BROTAÇÃO DE LAS YEMAS A CAMPO

Se registraron las fechas del 50 % de caída de las hojas, y de brotación para cada cultivar en sus respectivas fincas y en los dos períodos estudiados (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Fecha del 50 % de abscisión de las hojas y de los estadios fenológicos de brotación de los cultivares de nogal y pecan para diferentes localidades de la provincia de Catamarca, Argentina, durante dos años sucesivos (2019/2020).

Cultivar	Localidad	Años	FCH (50 %) ^{a-b}	FB ^c	Número de días entre FCH y FB
Chandler	Rosario de Colana	2019	20/05	7/10	140
		2020	07/05	12/10	158
Trompito INTA	Rosario de Colana	2019	13/05	23/09	133
		2020	30/04	25/09	148
Chandler	Amadores	2019	10/05	15/10	158
		2020	07/05	20/10	166
Trompito INTA	Amadores	2019	01/05	30/09	152
		2020	25/04	02/10	160
Stuart	Colonia del Valle	2019	01/06	01/10	122
		2020	10/06	26/09	108
Pawnee	Colonia del Valle	2019	20/05	15/09	118
		2020	27/05	19/09	115
Western	Las Tejas	2019	04/06	20/09	108
		2020	10/06	15/09	97
Pawnee	Las Tejas	2019	23/05	10/09	110
		2020	5/06	15/09	102

^a Fecha del 50 % de caída de hojas.

^b Las fechas representan el valor medio de los 5 árboles por ambiente.

^c Fecha de brotación vegetativa a campo.

La caída de las hojas ocurrió antes en los sitios de mayor altitud. En las localidades de “Rosario de Colana” y “Amadores”, se observó que la caída de hojas ocurrió entre la última semana de abril y la tercera semana de mayo

dependiendo del cultivar. Para ambos sitios, 'Trompito INTA' fue el primer cultivar de nogal europeo en perder las hojas (Tabla 3.4). Las diferencias en la fecha de caída de las hojas alcanzaron hasta 10 días entre genotipos para la localidad de "Amadores", mientras que en "Rosario de Colana" esta diferencia fue de 7 días.

Por otro lado, la caída de las hojas en los cultivares de pecan ocurrieron entre la última semana de mayo y la segunda semana de junio. De este modo, existió una diferencia de dos a tres semanas en las fechas de caídas de las hojas entre el nogal europeo y el pecan, siendo los pecanes los más tardíos (Tabla 3.4).

En las zonas de producción de pecan de la Argentina la ocurrencia de la caída de las hojas se produce durante fines de junio hasta la tercera semana de julio (Frusso, 2007). Por otro lado, la defoliación natural en nogal europeo ocurre para algunos cultivares a partir de la primera semana de mayo (Del Barrio y Martin, 2011; Gabino *et al.*, 2005).

Las diferencias observadas en las fechas de caída de hojas tanto en los cultivares de nogal como de pecan, están relacionadas con su sensibilidad a los factores ambientales, en particular las bajas temperaturas y la amplitud térmica (Oukabli y Mahhou, 2007). Asimismo, en la caída de las hojas posiblemente intervengan otros factores relacionados al manejo (riego, fertilización, sanidad) (Madero *et al.*, 2016; Muncharaz Pou, 2001), la productividad (Pérez Luna *et al.*, 2015) y el momento y tipo de cosecha (Bianchini, 2005; Muncharaz Pou, 2001). La abscisión de las hojas y la llegada de las bajas temperaturas juegan un papel importante en la inducción de la dormición y en su evolución, ya que la presencia de las hojas está relacionada con la síntesis de inhibidores involucrados con este proceso (Gariglio *et al.*, 2012; Ramos Abbadie y Wlasiuk Pereira, 2019).

Por lo mencionado, la diferencia en el tiempo de caída de las hojas entre el nogal europeo y el pecan podrían ser explicados más por una diferencia entre especies que por la influencia de la localidad. Es de esperar entonces que los momentos de inducción a la dormición no ocurran en el mismo tiempo, lo cual se discutirá posteriormente. En cuanto a las fechas de brotación a campo, se observó que 'Trompito INTA' brotó alrededor de 15 días antes que 'Chandler'. Por

otro lado, tanto ‘Chandler’ como ‘Trompito INTA’ brotaron siempre primero en la localidad de “Rosario de Colana” y luego en “Amadores”.

Entre los cultivares de pecan, ‘Stuart’ brotó alrededor de 7 y 14 días después que ‘Western’ y ‘Pawnee’, respectivamente (Tabla 3.4). Como ‘Pawnee’ fue un cultivar común a “Colonia del Valle” y “Las Tejas”, se pudieron realizar comparaciones entre ambos sitios. En “Las Tejas” la brotación de ‘Pawnee’ ocurrió alrededor de 4 días antes que en “Colonia del Valle”. El tiempo transcurrido desde la caída de las hojas hasta la brotación proporciona una estimación de la duración de la dormición (Champagnat, 1989), mientras que la profundidad de la dormición está representada por el progreso de las curvas de tiempo medio de brotación (TMB) (Oukabli y Mekaoui, 2012).

3.4.3. VALORES DE TMB CORRESPONDIENTES AL PUNTO FINAL DE LA ENDODORMICIÓN

Para el punto final de la endodormición de los cultivares estudiados, se consideró el valor de TMB estabilizado de las varetas tratadas a 5 °C, obtenidos en el experimento de requerimientos térmicos correspondiente al capítulo II (Fig. 3.1).

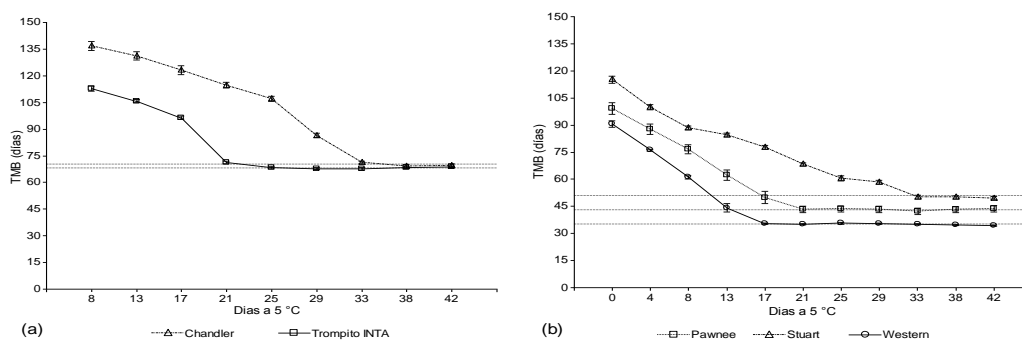


Figura 3.1. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) con tiempos de enfriamiento crecientes a 5 °C para las yemas vegetativas de cultivares de nogal europeo (a) y pecan (b). Valores medios de 2 años sucesivos (2018 y 2019). La inercia del crecimiento se expresa por el tiempo medio de brotación de las varetas de un año a 20 °C. El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra vertical.

Para los cultivares de nogal europeo se observó que ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’ presentaron una disminución en los valores de TMB a 5 °C para estabilizarse en 70 y 68 días, respectivamente; y una instancia más prolongada a 5 °C no produjo una mayor disminución del TMB (Fig. 3.1a).

Así mismo, en los cultivares de pecan, 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western' la estabilización de los valores del TMB ocurrieron a los 51, 43 y 35 días, respectivamente (Fig. 3.1b).

Por lo tanto, el valor límite del TMB a 20 °C (----), se considera como correspondiente al punto final de la endodormición (Fig. 3.1a y b).

3.4.4. PRUEBA DE VARETAS DE UN AÑO

3.4.4.1. Zonas productoras de nogal europeo: Rosario de Colana y Amadores

En los sitios de estudio donde se encuentra el nogal europeo, la variable tiempo medio de brotación (TMB) mostró diferencias significativas con respecto a las fechas de muestreo, cultivares de nogal europeo, el año, el tipo de yema, y la interacción entre estos factores (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación (TMB) para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de nogal europeo: 'Chandler' y 'Trompito INTA', extraídas a campo cada 20 días, en dos años consecutivos (2019 y 2020).

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
ROSARIO DE COLANA					
Cultivar	8393,89	1	8393,89	1919,37	<0,0001
Tipo de yema	328,13	1	328,13	75,03	<0,0001
Año	1597,77	1	1597,77	365,35	<0,0001
Días de extracción de VDA*	223526,56	6	37254,43	8518,68	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	4,69	1	4,69	1,07	0,3019
Cultivar*Año	60,67	1	60,67	13,87	0,0003
Cultivar*Días de extracción de VDA	5663,43	5	1132,69	259	<0,0001
Tipo de yema*Año	14,11	1	14,11	3,23	0,0745
Tipo de yema*Días de extracción de VDA	53,9	6	8,98	2,05	0,0622
Año*Días de extracción de VDA	3110,14	5	622,03	142,23	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema*Año	0,1	1	0,1	0,02	0,8798
Cultivar*Tipo de yema*Días de extracción de VDA	2,71	5	0,54	0,12	0,9869
Cultivar*Año*Días de extracción de VDA	3290,4	4	822,6	188,1	<0,0001
Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	2,2	5	0,44	0,1	0,9918
Cultivar*Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	5,77	4	1,44	0,33	0,8574
AMADORES					
Cultivar	3541,19	1	3541,19	419,88	<0,0001
Tipo de yema	634,5	1	634,5	75,23	<0,0001
Año	2332,12	1	2332,12	276,52	<0,0001
Días de extracción de VDA	277438,35	6	46239,73	5482,65	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	7,94	1	7,94	0,94	0,3332
Cultivar*Año	569,36	1	569,36	67,51	<0,0001
Cultivar*Días de extracción de VDA	1620,25	6	270,04	32,02	<0,0001
Tipo de yema*Año	11,35	1	11,35	1,35	0,2477
Tipo de yema*Días de extracción de VDA	29,7	6	4,95	0,59	0,7404
Año*Días de extracción de VDA	2001,83	6	333,64	39,56	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema*Año	2,02	1	2,02	0,24	0,6252
Cultivar*Tipo de yema*Días de extracción de VDA	19,99	6	3,33	0,4	0,8815
Cultivar*Año*Días de extracción de VDA	1278,67	5	255,73	30,32	<0,0001
Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	37,28	6	6,21	0,74	0,6208
Cultivar*Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	13,84	5	2,77	0,33	0,8955

*VDA: Varetas de un año.

3.4.4.1.1. Influencia de la Cultivar – Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación

El primer muestreo se correspondió con el tiempo de 50 % de caída de hojas a campo, a partir de este estado se inició el conteo de la acumulación de frío, por lo que para la fecha del primer muestreo la acumulación de frío es nula. Los cultivares, 'Chandler' y 'Trompito INTA', no registraron brotación para el primer muestreo a campo (inicio de acumulación de frío). Esta situación ocurrió para ambos años de estudio, por lo que para la fecha del primer muestreo en las dos

zonas de estudio no se pudo determinar el TMB de las yemas vegetativas terminales y laterales (Fig. 3.2).

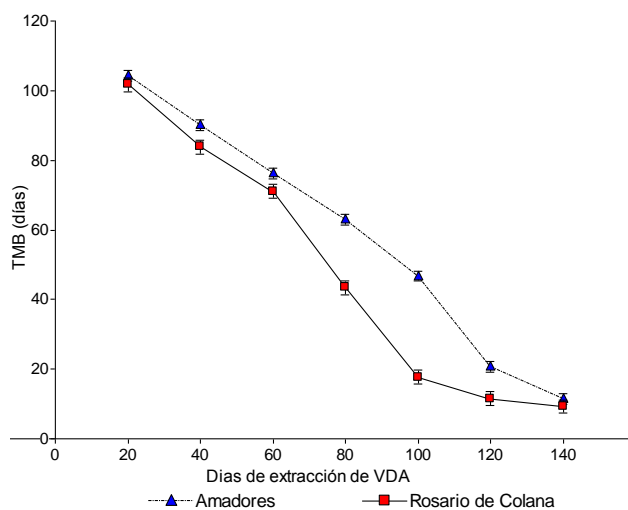


Figura 3.2. Efecto de los días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de nogal europeo, forzados a temperatura de 20 °C. Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Estos resultados coincidieron con lo informado por Oukabli y Mahhou (2007) quienes mencionaron que para las fechas de muestreo de cerezo dulce donde la brotación fue nula, estaba relacionado a una acumulación insuficiente de frío. Además, Brighenti (2012) y Gariglio *et al.* (2006a), reportaron que en algunos de los cultivares de pera, y duraznero, respectivamente, el TMB fue nulo cuando la acumulación de frío fue menor a la 100 HF (UFUM), y que la profundidad de la dormición es máxima al momento de caída de las hojas. Los resultados obtenidos en este ensayo para los cultivares ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’, coinciden con el de la determinación de los requerimientos térmicos del nogal y pecan presentados en el capítulo II de esta tesis, donde tampoco se observó brotación cuando no hubo acumulación de frío artificial. Cabe aclarar que los registros de las etapas fenológicas de brotación se realizaron en el invernadero hasta los 140 días de forzado, momento en que las yemas empezaron a mostrar síntomas de deshidratación.

Comparando los distintos periodos de extracción de varetas para los dos sitios, se observó que para la localidad de “Amadores”, el TMB se mantuvo siempre ligeramente superior al de “Rosario de Colana” (Fig. 3.2). Este comportamiento

está relacionado con las bajas temperaturas, es decir, “Rosario de Colana” es una región más fría y por eso el TMB disminuye más rápidamente y resulta ser menor para una misma fecha. Resultados similares fueron informado en cerezo (Tersoglio *et al.*, 2006) y duraznero (Balandier *et al.*, 1993b), cultivados en diferentes latitudes. De acuerdo a lo informado por Herter *et al.* (1991) y Balandier *et al.* (1993b), cuanto mayor es la acumulación de frío, más rápida es la liberación de la endodormición, como lo demuestran estos resultados y los del experimento del capítulo II.

En “Rosario de Colana”, las extracciones de varetas a los 100, 120 y 140 días no manifestaron diferencias significativas (Fig. 3.2), por lo tanto, la mayor acumulación de frío registrada en “Rosario de Colana” permitió cubrir antes los requerimientos de frío, y registrar un período de ecodormición más largo y una brotación más tardía en comparación con la segunda localidad. Sin embargo, este comportamiento general se observó sólo para el cultivar ‘Chandler’, mientras que para ‘Trompito INTA’ fue diferente, lo cual explica la interacción significativa entre los días de extracción de VDA y los cultivares de nogal europeo (Tabla 3.6).

Por otro lado, en “Amadores” no se observaron diferencias significativas a los 120 y 140 días (Fig. 3.2). Este comportamiento general solo fue observado en ‘Trompito INTA’ (Tabla 3.6), mientras que ‘Chandler’ tuvo un comportamiento diferente, lo cual explica las interacciones significativas. Para ambas localidades, ‘Chandler’ presentó valores de TMB superiores comparada con ‘Trompito INTA’.

Tabla 3.6. Influencia de la interacción Días de extracción de varetas de un año (VDA) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de nogal europeo.

Cultivar	Días de extracción de VDA							
	0	20	40	60	80	100	120	140
Rosario de Colana								
Chandler	114 ± 1,5 aA	93 ± 2,1 bA	84 ± 1,7 bA	57 ± 5,9 cA	21 ± 0,9 dA	11 ± 1,1dA	9 ± 0,7 d	
Trompito INTA	89 ± 1,6 aB	65 ± 3,9 bB	48 ± 0,5 cB	30 ± 1,1 dB	14 ± 1,3 eB	13 ± 0,6 eA		
Amadores								
Chandler	116 ± 3,1 aA	98 ± 2,2 bA	79 ± 3,9 cA	49 ± 2,3 dA	29 ± 1,6 eA	22 ± 1,7 fA	13 ± 1,6 gA	
Trompito INTA	92 ± 0,6 aB	79 ± 0,6 bB	62 ± 1,7 cB	41 ± 3,2 dB	17 ± 1,5 eB	11 ± 1,0 fB	6 ± 0,5 fB	

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

3.4.4.1.2. Influencia del Cultivar - Año sobre el tiempo medio de brotación

En las zonas nogaleras, 'Chandler' resultó ser la de mayor valor medio de TMB en comparación a 'Trompito INTA' (Fig. 3.3a y b), siendo la diferencia importante en términos relativos, entre el 15 y 20 %.

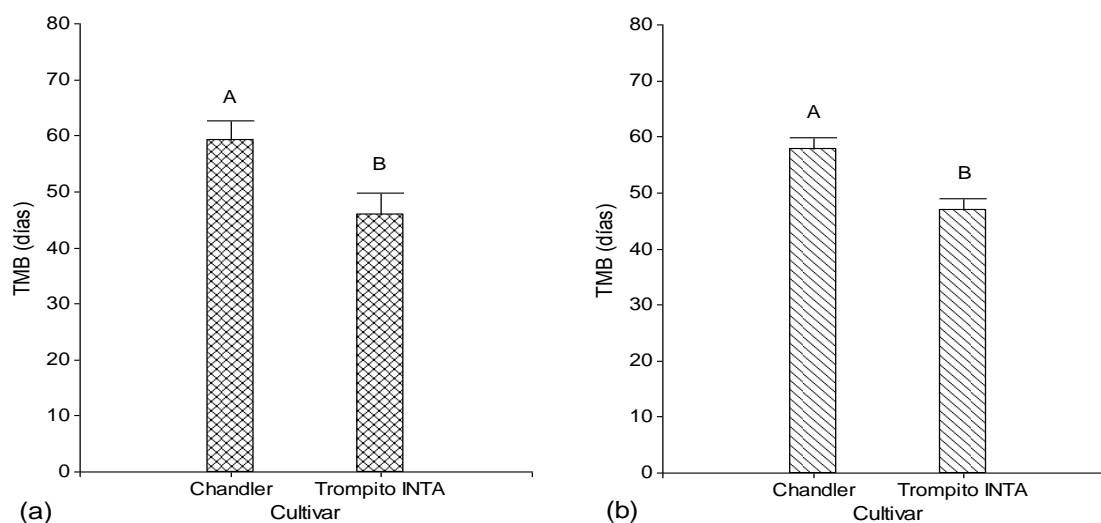


Figura 3.3. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo para los sitios: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Independientemente del sitio y de la fecha, las varetas del cultivar 'Chandler' siempre presentaron mayor tiempo medio de brotación que las del cultivar 'Trompito INTA', pero la diferencia fue mayor en el año 2020 que en 2019 (Fig. 3.4a y b).

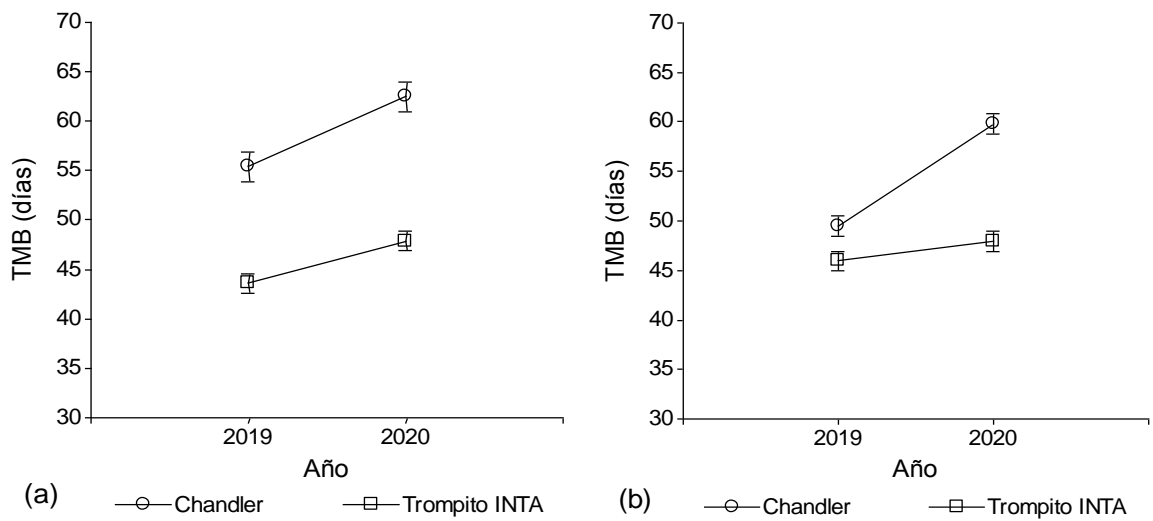


Figura 3.4. Efecto del cultivar y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.

3.4.4.1.3. Influencia del Año - Días de extracción de varetas de un año sobre el tiempo medio de brotación

Tanto en “Rosario de Colana” como en “Amadores” el TMB de los cultivares de nogal europeo fue más alto en el año 2020, que en el 2019 (Fig. 3.5a y b).

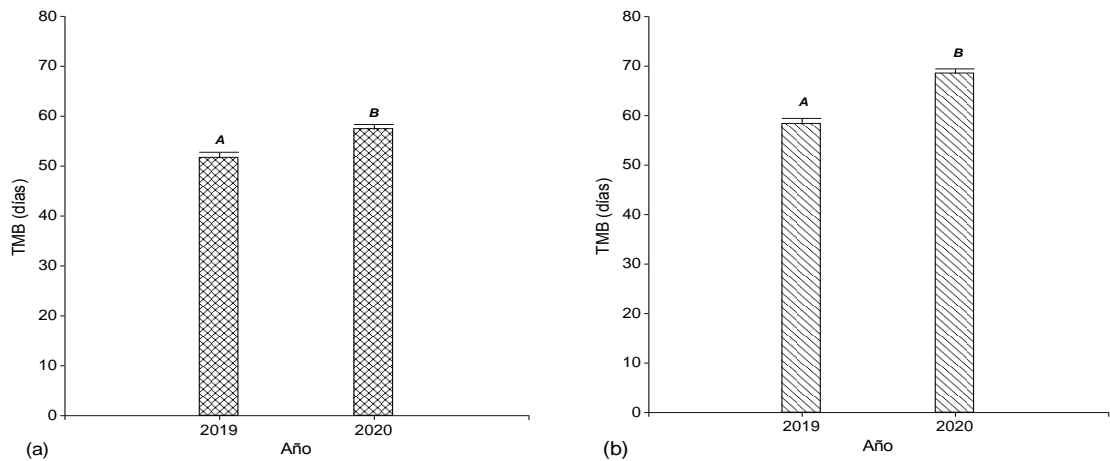


Figura 3.5. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de nogal europeo para los años 2019 y 2020: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Para ambas zonas, la diferencia entre el TMB para los distintos momentos de extracción de varetas fue mayor en casi todos los casos en el año 2020 que para el año 2019 (Fig. 3.6a y b).

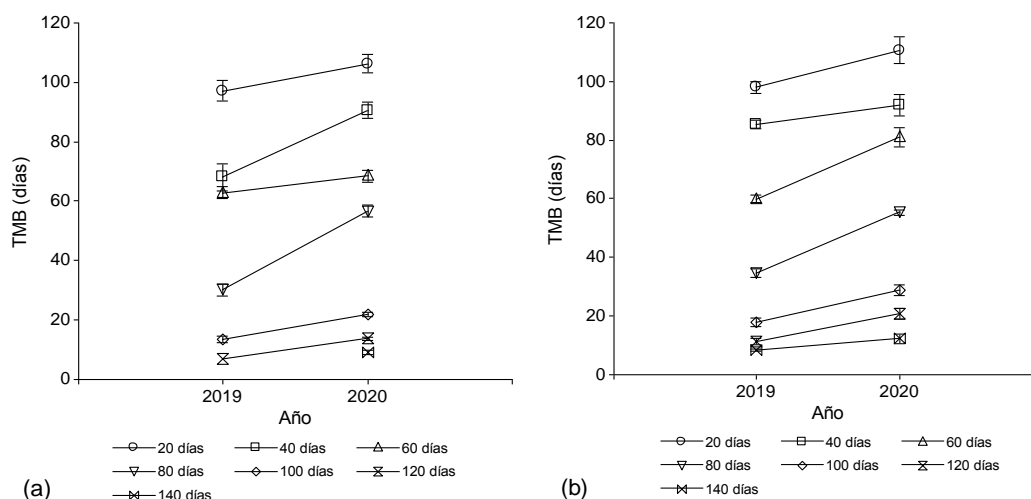


Figura 3.6. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.

Comparando cada sitio, se observa que la diferencia entre años en los valores de TMB podría estar relacionada con la diferente acumulación de frío según el año. En la localidad de “Amadores” la diferencia entre años fue importante (ver tabla 3.2). Para las distintas localidades en general fue más frío el año 2020, salvo en el mes de junio en “Amadores”.

Por otro lado, en “Rosario de Colana” la diferencia de acumulación de frío entre años fue menor. En esta localidad y a diferencia de lo que ocurre en las otras, el año 2019 presentó una acumulación de frío ligeramente mayor que el 2020, lo que podría explicar los valores más bajos en el TMB durante las extracciones del año 2019.

3.4.4.1.4. Influencia del Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debida al tipo de yema (Tabla 3.5). En las localidades de “Rosario de Colana” (Fig. 3.7a) y “Amadores” (Fig. 3.7b) las yemas laterales presentaron un TMB superior al de las yemas terminales.

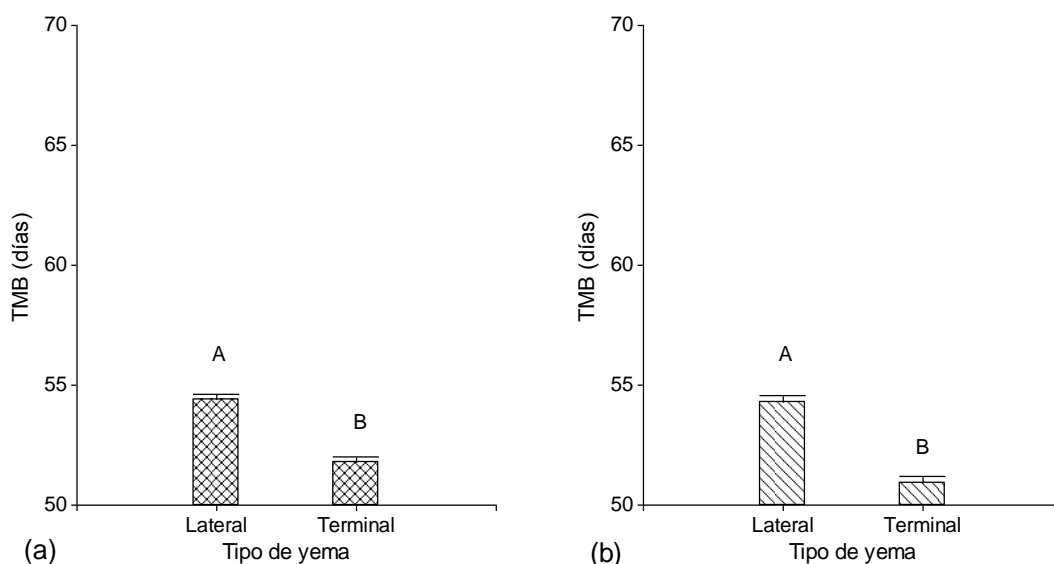


Figura 3.7. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Analizando el comportamiento en cada cultivar, en el caso de “Rosario de Colana”, el TMB en las yemas laterales fue siempre mayor que en las yemas terminales al menos en un 4 %, mientras que en “Amadores” esta diferencia fue del 6 %.

3.4.4.1.5. Influencia de los Días de extracción de VDA * Cultivar * Año sobre el tiempo medio de brotación

En las dos zonas nogaleras, la interacción entre los Días de extracción de VDA, el Cultivar y el Año fue significativa (Tabla 3.5). Para la interpretación de las interacciones significativas entre tres factores, se tomó la interacción significativa entre dos de ellos (Días de extracción de VDA x Cultivar) y se comparó para los niveles del tercer factor (Año: 2018 y 2019) (Garrido García, 2008; Montgomery,

1991). La figura 3.8a y b, muestra que la diferencia entre el tiempo medio de brotación para la combinación del efecto de los Días de extracción y los cultivares de nogal europeo fue en general mayor en el año 2020 que el 2019, aunque existen algunas situaciones en el que no se presentó este comportamiento general, lo cual explica las interacciones significativas.

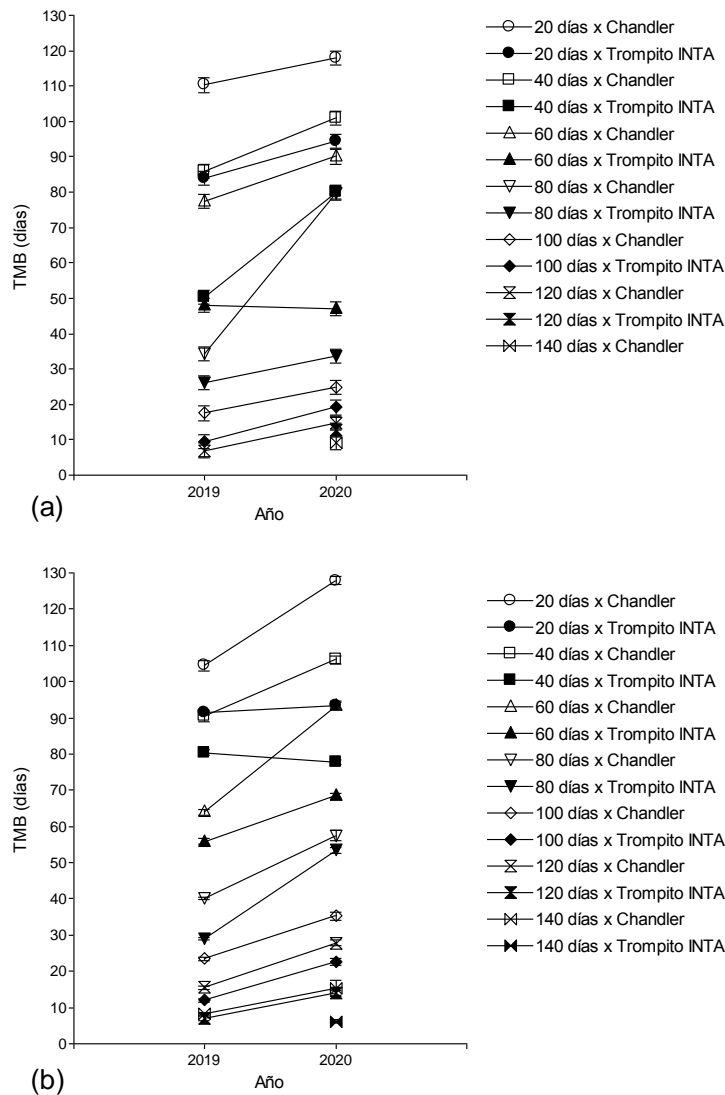


Figura 3.8. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA), Cultivar y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de nogal europeo: (a) Rosario de Colana y (b) Amadores. Las barras verticales representan el error estándar.

3.4.4.2. Zonas productoras de pecan: Colonia del Valle y Las Tejas

El análisis estadístico de la variable tiempo medio de brotación (TMB) mostró diferencias significativas con respecto a las fechas de muestreo, cultivares de pecan, el año, el tipo de yema y la interacción entre estos factores (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Análisis de varianza de la variable tiempo medio de brotación para las yemas terminales y laterales de varetas de un año de edad de los cultivares de pecan: 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western', extraídas a campo cada 20 días, en dos años consecutivos (2019 y 2020).

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Colonia del Valle					
Cultivar	3072	1	3072	1326,44	<0,0001
Tipo de yema	426,02	1	426,02	183,95	<0,0001
Año	27936,75	1	27936,75	12062,64	<0,0001
Días de extracción de VDA	161705,92	5	32341,18	13964,41	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	0,33	1	0,33	0,14	0,705
Cultivar*Año	63,02	1	63,02	27,21	<0,0001
Cultivar*Días de extracción de VDA	576,81	5	115,36	49,81	<0,0001
Tipo de yema*Año	0,33	1	0,33	0,14	0,705
Tipo de yema*Días de extracción de VDA	12,42	5	2,48	1,07	0,3783
Año*Días de extracción de VDA	2771,56	5	554,31	239,34	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema*Año	6,02	1	6,02	2,6	0,1091
Cultivar*Tipo de yema*Días de extracción de VDA	8,73	5	1,75	0,75	0,5846
Cultivar*Año*Días de extracción de VDA	735,92	5	147,18	63,55	<0,0001
Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	11,98	5	2,4	1,03	0,3997
Cultivar*Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	4,17	5	0,83	0,36	0,8752
Las Tejas					
Cultivar	2327,27	1	2327,27	1304,46	<0,0001
Tipo de yema	305,82	1	305,82	171,41	<0,0001
Año	1267,53	1	1267,53	710,46	<0,0001
Días de extracción de VDA	177661,71	5	35532,34	19916,22	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema	5,82	1	5,82	3,26	0,0732
Cultivar*Año	1029,08	1	1029,08	576,81	<0,0001
Cultivar*Días de extracción de VDA	505,43	5	101,09	56,66	<0,0001
Tipo de yema*Año	0,05	1	0,05	0,03	0,8612
Tipo de yema*Días de extracción de VDA	36,21	5	7,24	4,06	0,0018
Año*Días de extracción de VDA	807,41	4	201,85	113,14	<0,0001
Cultivar*Tipo de yema*Año	1,3	1	1,3	0,73	0,394
Cultivar*Tipo de yema*Días de extracción de VDA	5,96	5	1,19	0,67	0,6479
Cultivar*Año*Días de extracción de VDA	739,21	4	184,8	103,58	<0,0001
Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	2,91	4	0,73	0,41	0,8025
Cultivar*Tipo de yema*Año*Días de extracción de VDA	8,66	4	2,17	1,21	0,308

*VDA: Varetas de un año

3.4.4.2.1. Influencia del Cultivar – Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación

A diferencia de lo que ocurrió en los cultivares de nogal europeo, los de pecan registraron brotación para el primer muestreo a campo (inicio de acumulación de frío). El mayor valor de TMB para “Colonia del Valle” y “Las Tejas” se correspondió con el primer muestreo, es decir, cuando no se acumuló frío (Fig. 3.9). Este resultado coincidió con lo reportado por Wang *et al.* (2022), quienes

encontraron que para plántulas de pecan el TMB más alto de los brotes vegetativos fue cuando las hojas habían caído (50 %). También, Gariglio *et al.* (2012) encontraron que el TMB más alto de los brotes vegetativos y florales del duraznero cv. 'Flordaking', extraídos en diferentes momentos del periodo de reposo invernal y forzados a temperatura constante (20 °C), se correspondió con el momento de caída (50 %) de las hojas (primer muestreo), por lo que el pecan tendría un comportamiento similar en ese aspecto.

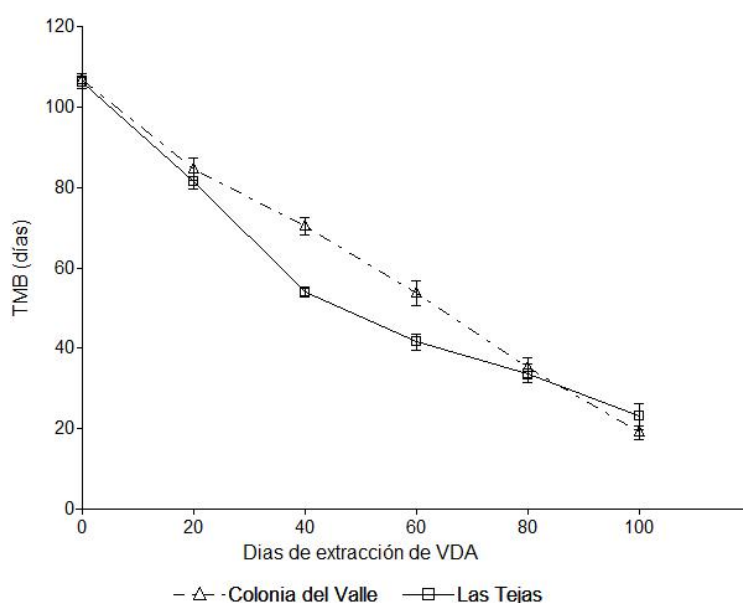


Figura 3.9. Efecto de los Días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, forzados a temperatura de 20 °C. Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

Comparando los diferentes momentos de extracción de varetas de un año para los dos sitios, se observó que en “Colonia del Valle”, el TMB en algunos momentos fue ligeramente superior al de “Las Tejas”. Hasta los dos primeros periodos de extracción de VDA a campo no se observaron diferencias significativas en el TMB de ambas localidades. Luego, a los 40 y 60 días de extracción de VDA se comenzaron a notar las diferencias en el TMB entre ambos sitios. Posteriormente, las extracciones de varetas a los 80 y 100 días, nuevamente no manifestaron diferencias significativas (Fig. 3.9).

Las diferencias en los TMB entre “Colonia del Valle” y “Las Tejas” están relacionadas con las bajas temperaturas. “Las Tejas” acumula mayor cantidad de

frío en comparación a “Colonia del Valle” (ver tabla 3.3), por eso el TMB de “Las Tejas” es menor a partir de la tercera y cuarta fecha de extracción de VDA.

En “Colonia del Valle”, para los distintos momentos de extracción de varetas se observaron diferencias significativas (Fig. 3.9); sin embargo, este comportamiento general se observó sólo para el cultivar ‘Stuart’ (Tabla 3.8).

Tabla 3.8. Influencia de la interacción Días de extracción de varetas de un año (VDA) - Cultivar sobre el tiempo medio de brotación para las varetas de pecan.

Cultivar	Días de extracción de varetas de un año (VDA)					
	0	20	40	60	80	100
Colonia del Valle						
Stuart	108 ± 0,9 aA	87 ± 3,6 bA	76 ± 2,9 cA	63 ± 4,3 dA	42 ± 3,4 eA	23 ± 2,7 fA
Pawnee	106 ± 2,9 aA	82 ± 4,1 bA	64 ± 2,6 cB	52 ± 4,8 cB	33 ± 3,4 dB	15 ± 1,9 eB
Las Tejas						
Pawnee	108 ± 2,4 aA	84 ± 4,1 bA	57 ± 1,3 cA	44 ± 2,5 dA	28 ± 2,8 eA	18 ± 0,3 eA
Western	104 ± 1,6 aA	79 ± 0,6 bA	49 ± 0,5 cB	31 ± 1,5 dB	22 ± 2,2 eB	10 ± 0,0 fB

Las medias seguidas de diferentes letras minúsculas en la misma fila y de las diferentes letras mayúsculas en la misma columna difieren significativamente según el test de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para ‘Pawnee’ el comportamiento fue diferente, entre los 40 y 60 días de extracción de VDA no hubo diferencias significativas, lo cual explica la interacción entre los días de extracción de VDA y los cultivares de pecan.

Por otro lado, en “Las Tejas” también se observaron diferencias significativas en el TMB para los distintos momentos de extracción de VDA (Fig. 3.9). Este comportamiento general solo fue observado en ‘Western’, mientras que ‘Pawnee’ entre los 80 y 100 días no presentó diferencias. Este comportamiento diferente en comparación a ‘Western’ explica la interacción significativa entre estos dos factores (Tabla 3.8).

3.4.4.2.2. Influencia del Cultivar - Año sobre el tiempo medio de brotación

Para la localidad de “Colonia del Valle”, ‘Stuart’ resultó ser el de mayor TMB en comparación a ‘Pawnee’ (Fig. 3.10a), siendo la diferencia importante en términos relativos (12 %). Esta diferencia fue mayor en el año 2020 que en 2019 (Fig. 3.11a).

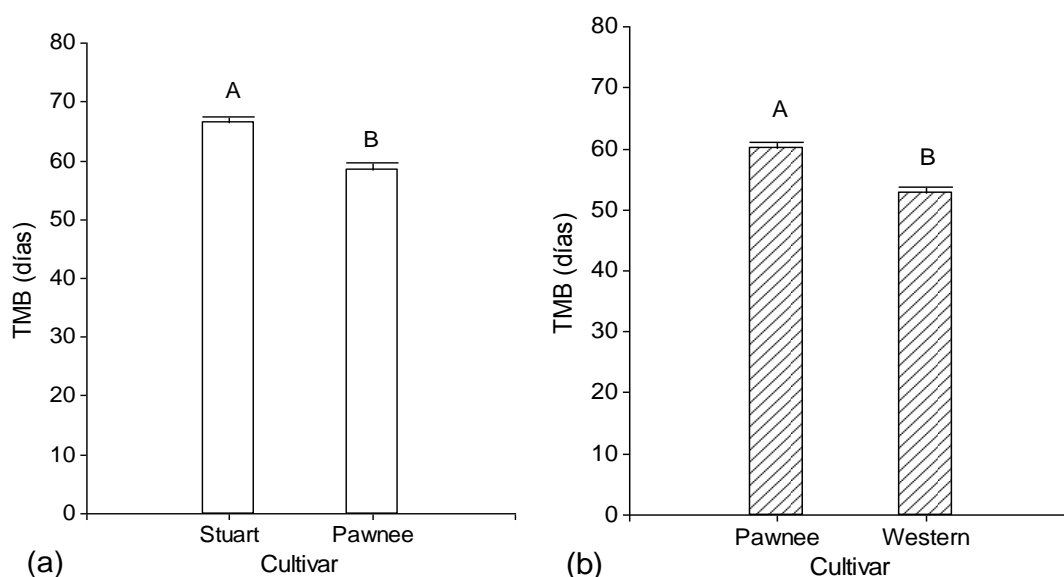


Figura 3.10. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de pecan para los sitios: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Por otro lado, en “Las Tejas”, fue ‘Pawnee’ el cultivar de mayor TMB comparado con ‘Western’ (Fig. 3.10b). La diferencia en el TMB entre los cultivares fue de 12 % en términos relativos. Analizando el comportamiento de ‘Pawnee’, cultivar común a los dos sitios, se observa que los valores de TMB fueron muy semejantes (Fig. 3.10a y b).

En “Las Tejas” la interacción significativa entre los cultivares de pecan y el año de evaluación es explicada ya que el TMB de ‘Western’ no cambio de un año a otro como si lo hicieron los otros dos cultivares (Fig. 3.11a y b).

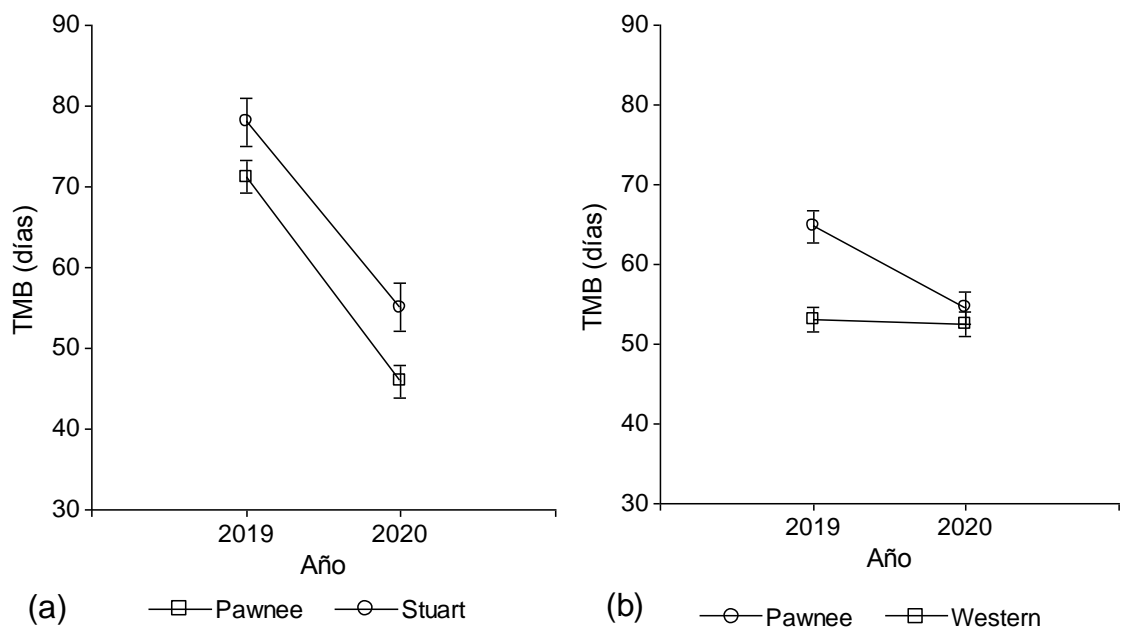


Figura 3.11. Efecto de los cultivares de pecan y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar.

3.4.4.2.3. Influencia del Año - Días de extracción de VDA sobre el tiempo medio de brotación

Tanto en “Colonia del Valle” como en “Las Tejas” el TMB de los cultivares de pecan fue más alto en el año 2019, que en el 2020 (Fig. 3.12a y b).

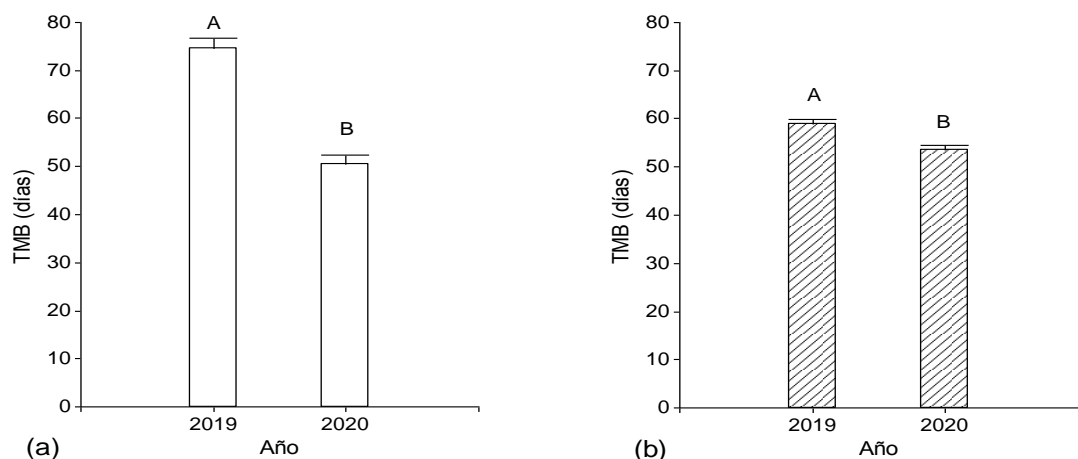


Figura 3.12. Tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de varetas de los cultivares de pecan para los años 2019 y 2020: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Para ambas zonas, la diferencia entre el TMB para los distintos momentos de extracción de varetas fue mayor en casi todos los casos en el año 2019 que para el año 2020 (Fig. 3.13a y b).

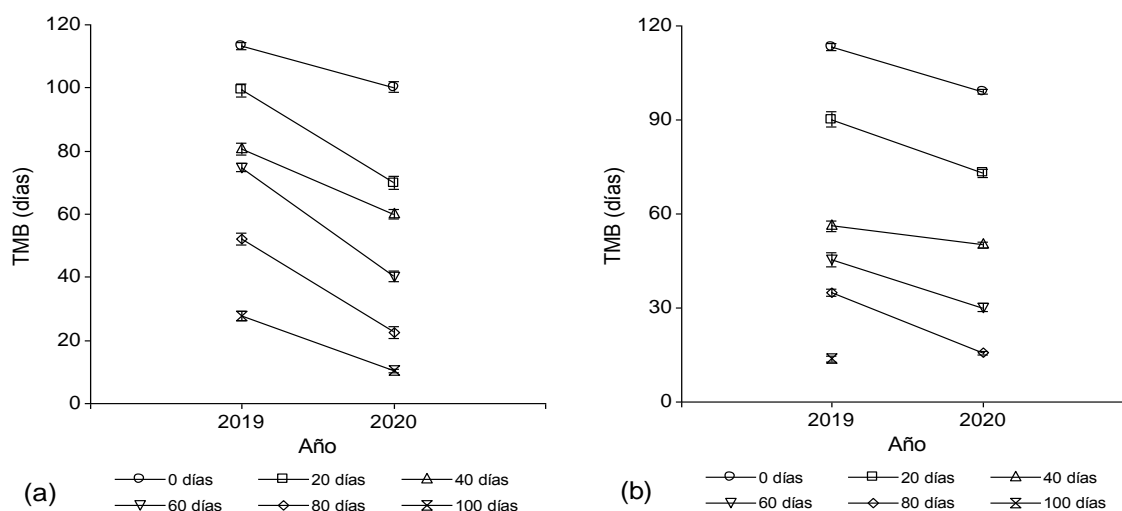


Figura 3.13. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA) y el año de estudio sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar.

La diferencia de acumulación de frío entre años en “Colonia de Valle” fue un 14 % mayor en el año 2020 (ver tabla 3.2), y esta tendencia general se dio durante todos los meses, salvo en junio que fue menor en comparación al año 2019. Por otro lado, en “Las Tejas” la diferencia de acumulación de frío entre años fue menor, alrededor de un 9 %. Para esta última localidad también el año 2020 fue el más frío.

3.4.4.2.4. Influencia del Tipo de yema sobre el tiempo medio de brotación

Se detectaron variaciones significativas en el TMB debida al tipo de yema. En “Colonia del Valle” (Fig. 3.14a) y “Las Tejas” (Fig. 3.14b) las yemas laterales presentaron un TMB superior al de las yemas terminales. Estos resultados coincidieron con los reportados por Lam-Yam (1990), quien encontró que las yemas laterales de duraznero presentaban un TMB superior al de las yemas terminales.

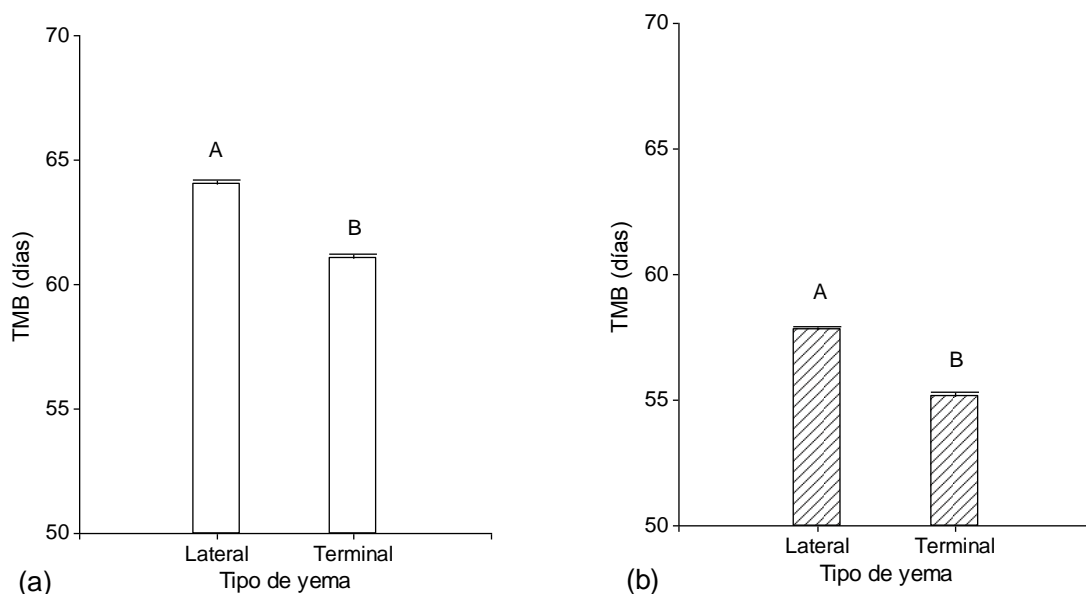


Figura 3.14. Tiempo medio de brotación (TMB) de yemas terminales (YT) y laterales (YL) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p \leq 0.05$). Las barras verticales representan el error estándar.

Analizando el comportamiento en cada cultivar, el tiempo medio de brotación en las yemas laterales fue siempre mayor que el de las yemas terminales al menos en un 5 %.

3.4.4.2.5. Influencia del Tipo de yema - Días de extracción de varetas de un año sobre el tiempo medio de brotación

En “Colonia del Valle”, no se encontraron diferencias significativas en el TMB entre el Tipo de yema x Días de extracción de VDA, pero si en la localidad de las “Las Tejas”. En la figura 3.15 se observa que el TMB de las yemas laterales y terminales tuvieron un comportamiento similar para las distintas fechas de extracción de VDA, salvo para la primera, donde fue diferente. Este comportamiento explica la interacción significativa entre el tipo de yema y los días de extracción de VDA.

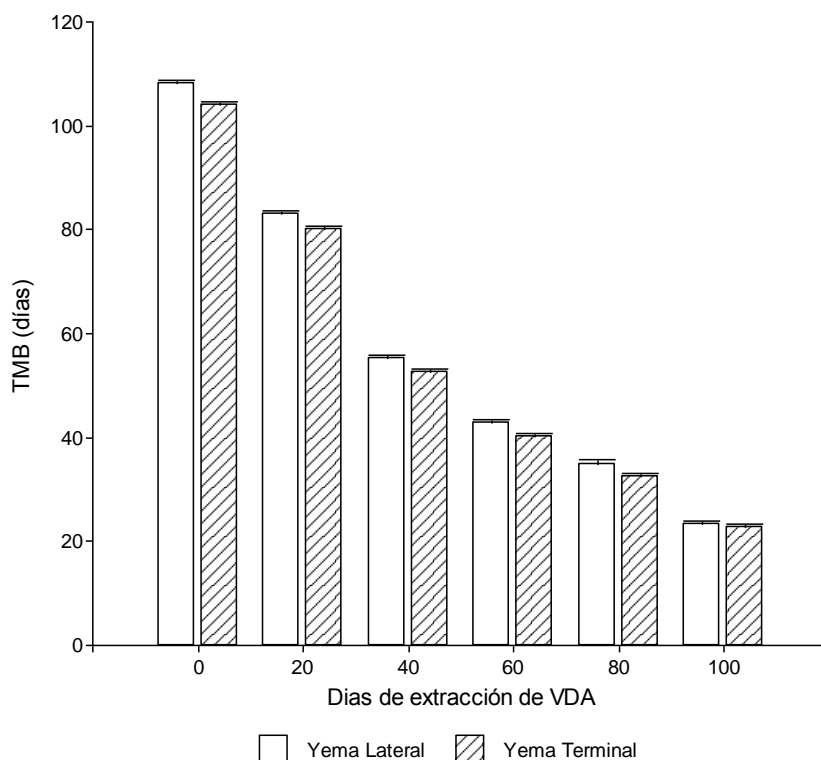


Figura 3.15. Influencia de la interacción del Tipo de yema - Días de extracción a campo de varetas de un año (VDA) sobre el tiempo medio de brotación (TMB) en las yemas vegetativas de varetas de pecan, obtenidas de la localidad de “Las Tejas”. Se representa el error estándar del TMB para cada muestra por la barra vertical.

3.4.4.2.6. Influencia de los Días de Extracción de VDA * Cultivar * Año sobre el tiempo medio de brotación

La interacción entre los Días de extracción de VDA, el Cultivar y el Año fueron significativa. Para la interpretación de las interacciones significativas se procedió como en el apartado 3.4.4.1.5. En las dos zonas donde se produce pecan, se observó que la diferencia entre el tiempo medio de brotación para la combinación del efecto de los Días de extracción de las varetas de un año y los cultivares de pecan es en general mayor en el año 2020 que el 2019, aunque existen algunas situaciones en el que no se presentó este comportamiento general, lo cual explica las interacciones (Fig. 3.16a y b).

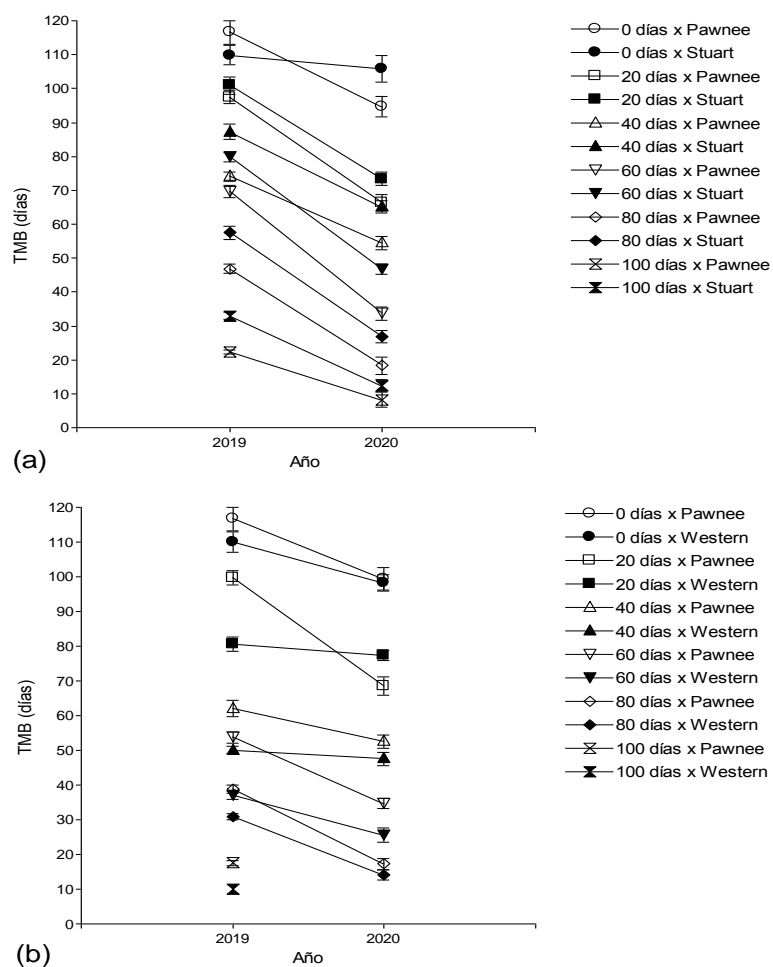


Figura 3.16. Efecto de los Días de extracción de varetas de un año (VDA), Cultivar y el Año sobre el tiempo medio de brotación (TMB) de varetas de pecan: (a) Colonia del Valle y (b) Las Tejas. Las barras verticales representan el error estándar.

3.4.5. FECHAS DE LIBERACIÓN DE LA ENDODORMICIÓN

Los valores de TMB correspondientes al punto final de la endodormición, obtenidos en el capítulo II de esta tesis, se trazaron en las curvas de dinámica de TMB para determinar la fecha en la que la endodormición se liberó por completo en cada situación (Balandier *et al.*, 1993b).

3.4.5.1. Rosario de Colana

Para ambos períodos (2019 y 2020) y ambos cultivares ('Chandler' y 'Trompito INTA'), se observó una disminución en los valores de TMB a partir de mayo en adelante. El valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición para 'Chandler' se alcanzó aproximadamente el 23 y 30 de julio en 2019 y 2020, respectivamente. Para 'Trompito INTA' se logró el 29 de junio y 6 de julio para el año 2019 y 2020, respectivamente (Fig. 3.17a y b).

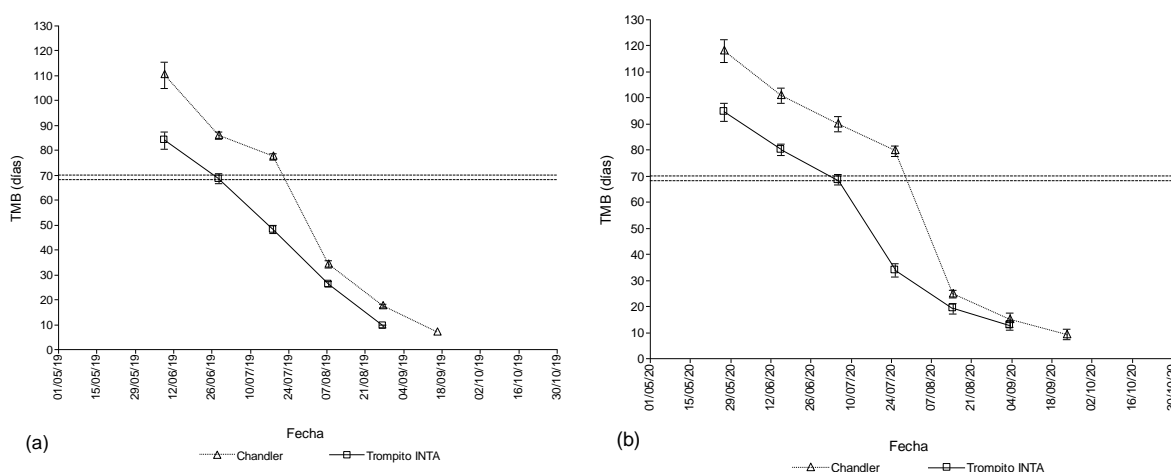


Figura 3.17. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') en Rosario de Colana para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 70 y 68 días para 'Chandler' y 'Trompito INTA'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra.

3.4.5.2. Amadores

El valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición para 'Chandler' fue alcanzado aproximadamente el 18 y 29 de agosto en 2020 y 2019, respectivamente (Fig. 3.18a y b). Por otro lado, 'Trompito INTA' logró dichos valores antes que 'Chandler', siendo el 6 y 9 de julio de 2020 y 2019,

respectivamente, las fechas de superación de la endodormición para este cultivar (Fig. 3.18a y b).

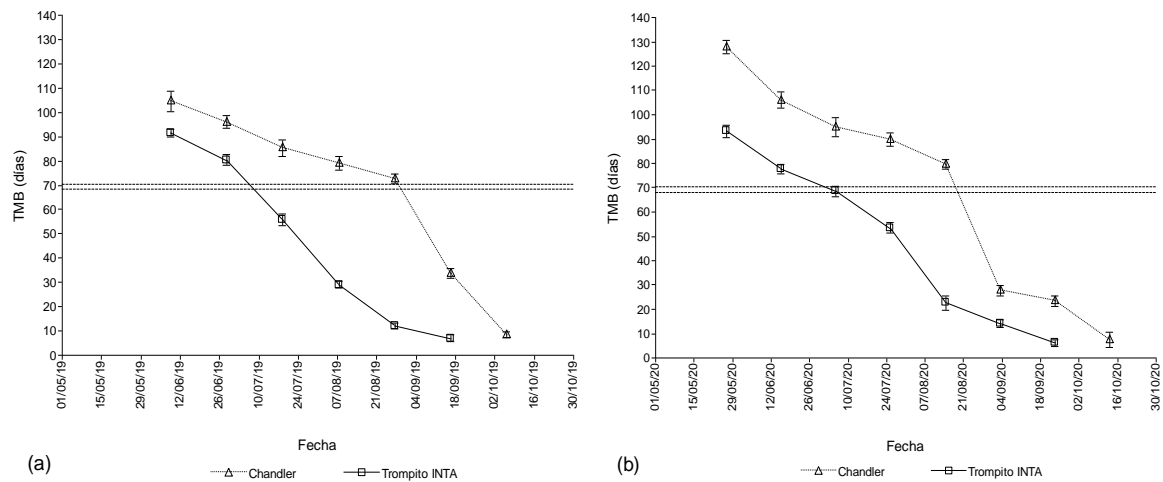


Figura 3.18. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de nogal europeo ('Chandler' y 'Trompito INTA') en Amadores para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 70 y 68 días para 'Chandler' y 'Trompito INTA'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por la barra.

Se observó que los cultivares evaluados de nogal europeo siempre alcanzaron los valores de TMB correspondientes a la liberación de la endodormición. En el caso de 'Chandler' y 'Trompito INTA' estos valores de TMB ocurrieron primero en "Rosario de Colana" y luego en "Amadores" para los dos años de evaluación (Fig. 3.17 y 3.18).

3.4.5.3. Colonia del Valle

En cuanto a los cultivares de pecan, las fechas de liberación de la endodormición ocurrió antes en 'Pawnee' que en 'Stuart'. Para el año 2019, 'Pawnee' y 'Stuart' lograron la superación de la endodormición el 7 y 25 de agosto, respectivamente (Fig. 3.19a). Mientras que en 2020 fue el 31 de julio y 11 de agosto para 'Pawnee' y 'Stuart', respectivamente (Fig. 3.19b).

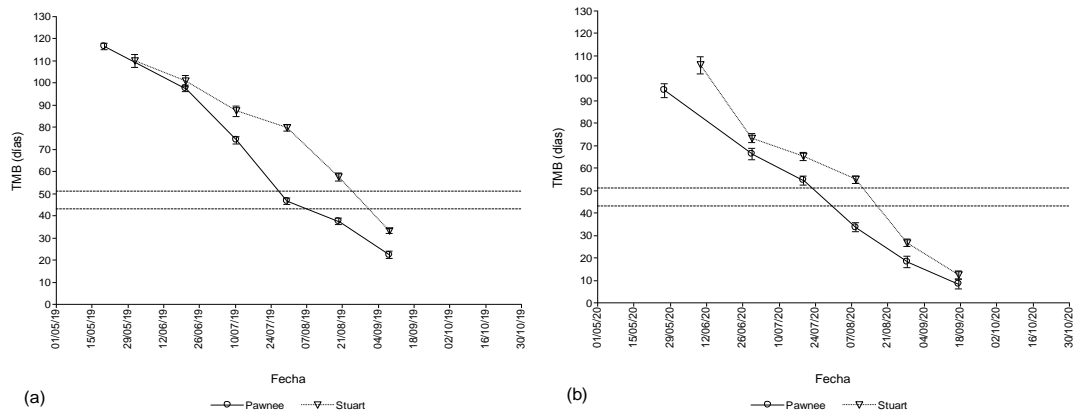


Figura 3.19. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de pecan ('Stuart' y 'Pawnee') en Colonia del Valle para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 51 y 43 días para 'Stuart' y 'Pawnee'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por las barras verticales.

3.4.5.4. Las Tejas

Los cultivares 'Pawnee' y 'Western' evaluados en la localidad "Las Tejas" presentaron diferencias en las fechas para alcanzar el fin de la endodormición a campo, siendo 'Western' el cultivar con menor cantidad de días necesarios para alcanzar dicho valor de TMB estable. Para el año 2019, 'Western' y 'Pawnee' lograron la superación de la endodormición el 7 y 30 de agosto, respectivamente (Fig. 3.20 a) mientras que en 2020 fue el 1 y 31 de agosto, respectivamente (Fig. 3.20 b).

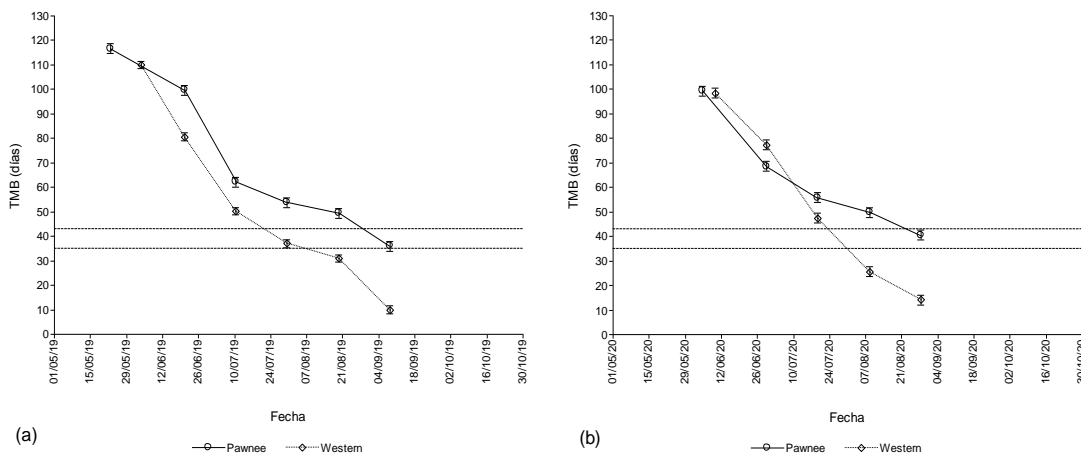


Figura 3.20. Dinámica del tiempo medio de brotación (TMB) de las yemas vegetativas de los cultivares de pecan ('Pawnee' y 'Western') en Las Tejas para el año (a) 2019 y (b) 2020. La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (respectivamente, 43 y 35 días para 'Pawnee' y 'Western'). El error estándar del TMB para cada muestra está representado por las barras verticales.

Al igual que en los cultivares de nogal europeo, las de pecan también alcanzaron en todos los casos los valores de TMB correspondientes a la liberación de la endodormición. En ‘Pawnee’ estos valores de TMB se observaron primero en “Colonia del Valle” y luego en “Las Tejas” (Fig. 3.19 y 3.20).

3.4.6. PROGRESIÓN DE LA DORMICIÓN DE LAS YEMAS VEGETATIVAS

La mayoría de los cultivares evaluados alcanzaron la profundidad máxima de la dormición a finales de otoño (finales de mayo), seguida de una disminución continua de los valores de TMB. En otro estudio se encontró que la endodormición en nogal europeo estaba generalmente cerca de su valor máximo a fines del mes de noviembre (mayo en el hemisferio sur) (Charrier y Améglio, 2011). Estos resultados se corresponden con lo informado por Fuchigami *et al.* (1977) y Lam-Yam (1990) para un arbusto ornamental (*Cornus sericea* L.) y para duraznero cv. ‘Culemborg’, respectivamente, cuya máxima intensidad de la dormición fue en noviembre (mayo en el hemisferio sur), más o menos al inicio de la defoliación natural. Haguage y Cummins (1991), trabajando en manzana encontraron una situación semejante con un arbusto ornamental caducifolio (*Cornus sericea* L.).

Por otro lado, los cultivares de pecan estudiados en “Colonia del Valle” (Fig. 3.19) y “Las Tejas” (Fig. 3.20), alcanzaron la máxima profundidad de dormición a principios de junio (momento de caída de las hojas), y a partir de allí ocurrió la disminución continua de los valores de TMB.

El momento del inicio de la dormición fue diferente en los distintos sitios estudiados. Todos los cultivares de nogal europeo entraron en dormición a principios de mayo (Fig. 3.17 y 3.18). Sin embargo, en las localidades con menor frío alcanzaron la dormición antes que en las localidades más frías. La localidad de “Amadores” (Fig. 3.18) presentó para ambos años una caída de hojas (inicio de la dormición) alrededor de una semana antes que en “Rosario de Colana” (Fig. 3.17).

Este resultado estuvo de acuerdo con la progresión de dormición encontrada por Campoy *et al.* (2011a), en damasco en Villiersdorp (Western Cape,

Sudáfrica), y también con lo reportado por Cook *et al.* (1998), en manzana en Stellenbosch (Western Cape, Sudáfrica). Así, la dormición se alcanzó antes en las áreas con temperaturas mínimas más altas (áreas más cálidas) como lo es la localidad de “Amadores”. Sin embargo, este resultado está en desacuerdo con los encontrados por Cook y Jacobs (2000) en manzana, donde la entrada inicial a la dormición se logró antes en el área más fría.

Las señales ambientales involucradas en la inducción de la dormición son el fotoperíodo corto y las temperaturas bajas (Charrier y Améglio, 2011). En pecan (Amling y Amling, 1980) y manzana (Cook y Jacobs, 2000), el inicio de la dormición se produce antes del advenimiento de las temperaturas frías, pero se produce una mayor intensificación cuando bajan las temperaturas. Sin embargo, Haguage y Cummins (1991) trabajando con manzanas, encontraron que los aumentos significativos en la dormición comenzaron a ocurrir solo después de la primera helada y el comienzo de la acumulación de frío.

Por otro lado, Heide y Prestrud (2005), confirman que el cese del crecimiento y la inducción de la dormición en manzanos y perales no están influenciados por el fotoperíodo, y demuestran que las bajas temperaturas (<12 °C) son altamente efectivas para lograr tanto la inducción de la dormición como su liberación en estas especies. Sin embargo, en duraznero se reconoce al fotoperíodo como señal ambiental que controla la inducción de la dormición (Heide y Prestrud, 2005; Sánchez-Villarreal, 2016).

La respuesta fotoperiódica de las especies de *Prunus* es altamente dependiente de la temperatura. El inicio de temperaturas mínimas más bajas en septiembre (hemisferio norte) (en comparación con el verano) y el fotoperíodo que se acorta rápidamente alrededor del equinoccio de otoño podría desencadenar la inducción de la dormición (Heide, 2008). De acuerdo al comportamiento obtenido en los nogales y pecanes, la progresión de la dormición tendría una respuesta más parecida al duraznero, con un descenso permanente del TMB a partir del momento de caída de las hojas (Balandier *et al.*, 1993a, 1993b). No obstante, podría implicarse una interacción con otros factores, como la altitud, ya que la dormición máxima se produjo antes en las zonas más cálidas.

La profundidad de la dormición se comportó de manera diferente entre años al comparar el pecan y el nogal europeo. En el año 2020 se presentó una dormición mayor en los nogales y una dormición menor en los pecanes. Si bien este es un valor medio, en la figura 3.17 en adelante se aprecia claramente que la diferencia fue observada desde el inicio del proceso de endodormición. O sea, la inducción a la dormición ya fue diferente, pero se comportó inversamente según sea nogal o pecan. El tiempo de caída de las hojas no fue el mismo en nogal y pecan (ver apartado 3.4.2); por lo tanto, es de esperar que los momentos de inducción a la dormición no ocurran al mismo tiempo en ambas especies si asumimos que la inducción a la dormición se completa al momento de caída de las hojas (Oukabli y Mahhou, 2007; Ramos Abbadie y Wlasiuk Pereira, 2019), momento en que la profundidad de la dormición alcanza su mayor valor. De acuerdo a esta evidencia, es posible explicar que las condiciones meteorológicas de un año en particular afecten de manera diferente a ambas especies. Las temperaturas del otoño y principios del invierno parecen jugar un papel crucial en la intensidad y la progresión de la dormición (Campoy *et al.*, 2011b; Charrier y Améglio, 2011; Jonkers, 1979; Westergaard y Eriksen, 1997). De acuerdo a Oukabli y Mekaoui (2012), las yemas entran en un período de dormición con intensidad variable. La eliminación de dicha dormición exhibe diferentes patrones y ocurre a diferentes ritmos dependiendo del cultivar.

Por otro lado, es interesante destacar que la caída de las hojas para los nogales se adelantó en el año 2020 respecto a 2019 mientras que en los pecanes sucedió lo contrario. En los frutales de carozo el tiempo de caída de las hojas tiene una gran influencia sobre la inducción a la dormición ya que este proceso es afectado por el fotoperiodo (Balandier *et al.*, 1993a, 1993b; Sánchez-Villarreal, 2016), y por lo tanto una caída más tardía de las hojas implica una dormición más profunda (Gariglio *et al.*, 2012). Esta última observación se contradice con los resultados obtenidos en esta tesis tanto para nogales como para pecanes. Sin embargo, en nogales y pecanes es probable que las bajas temperaturas otoñales provoquen una disminución de la profundidad máxima de la dormición. Esta disminución puede estar asociado con una considerable acumulación de frío durante el inicio del periodo de caída de las hojas (Tabla 3.9). Tener presente que

en todos los casos la primera extracción se realizó al momento del 50 % de caída de las hojas.

Tabla 3.9. Acumulación de frío (horas de frío) previo a la fecha del 50 % de la caída de las hojas de los cultivares de nogal europeo y pecan para diferentes localidades de la provincia de Catamarca, Argentina, durante dos años sucesivos (2019/2020).

Cultivar	Localidad	Años	FCH (50 %) ^a	Acumulación de HF ^b previo a la FCH (50 %)
Chandler	Rosario de Colana	2019	20/05	68
		2020	07/05	17
Trompito INTA	Rosario de Colana	2019	13/05	50
		2020	30/04	7
Chandler	Amadores	2019	10/05	30
		2020	07/05	18
Trompito INTA	Amadores	2019	01/05	20
		2020	25/04	3
Stuart	Colonia del Valle	2019	01/06	86
		2020	10/06	194
Pawnee	Colonia del Valle	2019	20/05	16
		2020	27/05	104
Western	Las Tejas	2019	04/06	69
		2020	10/06	60
Pawnee	Las Tejas	2019	23/05	17
		2020	05/06	39

^a Fecha del 50 % de caída de hojas.

^b Horas de frío.

Precisamente, analizando estas variables, en la figura 3.21 se presenta la relación funcional entre las horas de frío (HF) acumuladas hasta la caída de las hojas y la profundidad máxima de la dormición (TMB), el coeficiente de determinación R^2 de los cultivares de nogal europeo: (a) 'Chandler'; (b) 'Trompito INTA' y pecan: (c) 'Pawnee'. Además, en las gráficas se encuentran los coeficientes de correlación, que para el caso del cultivar 'Trompito INTA' y 'Pawnee' el grado de asociación entre las variables fue negativa fuerte. Mientras que para 'Chandler' fue negativa moderada. En general se observó una tendencia a disminuir la profundidad de dormición al momento de la caída de las hojas con la acumulación de frío previo a la caída de las hojas.

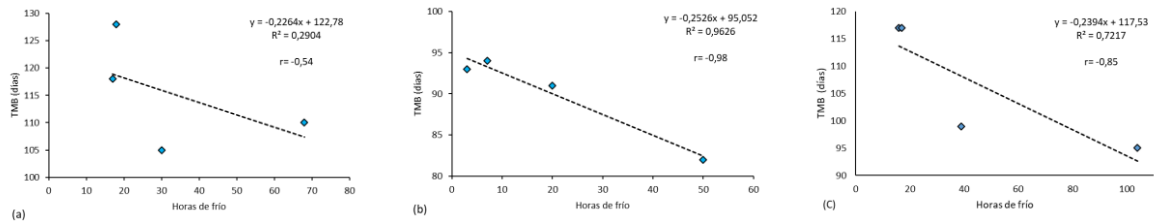


Figura 3.21. Análisis de regresión y correlación lineal entre las horas de frío acumuladas hasta la caída de las hojas y la profundidad máxima de la dormición para los cultivares de nogal europeo: (a) 'Chandler'; (b) 'Trompito INTA' y pecan; (c) 'Pawnee'. Se incluye el coeficiente correlación (r); coeficiente de determinación (R^2) y la ecuación obtenida.

En casos de una dormición muy profunda, la brotación no ocurrirá, aunque se suministren excesivas unidades de calor, tal como fue observado en el nogal europeo para la primera fecha de extracción de VDA. Por otro lado, el mayor valor de TMB para los cultivares de nogal europeo se registraron recién a partir de la segunda fecha de extracción de VDA a campo, esta situación fue similar en las dos localidades donde se tomaron VDA de nogal europeo (Fig. 3.17 y 3.18). En general, cuando un cultivar tiene más requerimientos de frío, también tiene un TMB mayor al inicio de la dormición. Esta situación también se observó para otras especies de frutales caducos como los cultivares de duraznero (Balandier *et al.*, 1993b; Gariglio *et al.*, 2006a) y damasco (Campoy *et al.*, 2011b).

En los cultivares de pecan la máxima profundidad de dormición se registró en la fecha correspondiente a la primera extracción de VDA a campo, en esta especie las VDA lograron alcanzar la brotación para el primer muestreo en las distintas zonas donde se extrajeron VDA de pecan (Fig. 3.19 y 3.20).

Los cultivares de nogal europeo que son comunes en los sitios de evaluación presentaron una profundidad de dormición semejante en las diferentes localidades. Por otro lado, el único cultivar presente en los dos sitios donde se realizó el cultivo de pecan fue 'Pawnee'. Para este último cultivar el máximo valor de profundidad de dormición también presentó valores semejantes para ambas localidades.

Esta similitud en los valores máximos de profundidad de dormición en las zonas donde se desarrolla el nogal europeo y donde se realiza el pecan, se lo puede contrastar con los diferentes tiempos medios de brotación encontrados por Balandier *et al.* (1993a) para duraznero en las localidades de Isla Reunión y Clermont-Ferrand, Francia.

Los patrones de TMB observados en Catamarca a lo largo del periodo otoño-invernal coincidieron más estrechamente con los documentados por Balandier *et al.* (1993a, 1993b) para el cultivar de duraznero 'Armking', cultivado en Clermont-Ferrand, Francia, en un clima templado. Además, estos resultados también coincidieron con los obtenidos en nuez pecan por Amling y Amling (1980), y en damasco por Campoy *et al.* (2011a). A medida que avanzaba la temporada, el TMB tanto de los cultivares de nogal como de pecan disminuyeron hasta alcanzar el mínimo valor de TMB, justo antes de que ocurriera la brotación en condiciones de campo. El patrón de disminución del TMB de cada cultivar fue consecuente con el tiempo de brotación en el campo.

Independientemente del sitio, en 'Chandler' se observó que los valores de TMB siguieron un patrón similar para ambos años. Luego de alcanzar el valor de TMB correspondiente al punto final de la endodormición, aumentó marcadamente la pendiente de disminución de los valores de TMB correspondientes a las fechas de extracción de VDA posteriores (Fig. 3.17 y 3.18). En cambio, la disminución del TMB con la acumulación de frío mostró una pendiente alta en 'Trompito INTA' en comparación a 'Chandler' desde el inicio del período de acumulación de frío, y por lo tanto satisfaciendo sus requerimientos de frío de manera anticipada. Este comportamiento diferencial del TMB de los cultivares de acuerdo a la disponibilidad de frío del sitio también fue afirmado por Balandier *et al.* (1993b).

3.4.7. REQUERIMIENTOS DE FRÍO CALCULADOS MEDIANTE EL MODELO DE HORAS DE FRÍO Y UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADO

A partir de las fechas de la caída de las hojas y las determinadas en la que la endodormición se liberó por completo, se procedió a realizar la cuantificación de los requerimientos de frío para cada cultivar evaluado en los distintos sitios. Los valores de los requerimientos de frío calculados a partir de los modelos de horas de frío y unidades de frío Utah modificadas se presentan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Requerimiento de frío expresado como horas de frío (HF) y Unidades de frío Utah Modificado (UFUM) desde el inicio de la acumulación de frío hasta la liberación completa de la endodormición, de los cultivares de nogal europeo: 'Chandler' y 'Trompito INTA' en "Rosario de Colana" y "Amadores"; y de los cultivares de pecan: 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western' en "Colonia del Valle" y "Las Tejas".

Localización y cultivar	Figura	Año	Fecha de inicio de acumulación de frío	Fecha de liberación de la endodormición	HFr	UFUM
Rosario de Colana						
Chandler	3.17 a	2019	20 de mayo	23 de julio	741	663
Trompito INTA	3.17 a	2019	13 de mayo	29 de junio	522	465
Chandler	3.17 b	2020	07 de mayo	30 de julio	860	755
Trompito INTA	3.17 b	2020	30 de abril	06 de julio	604	566
Amadores						
Chandler	3.18 a	2019	10 de mayo	29 de agosto	725	700
Trompito INTA	3.18 a	2019	01 de mayo	09 de julio	426	439
Chandler	3.18 b	2020	07 de mayo	18 de agosto	799	602
Trompito INTA	3.18 b	2020	25 de abril	06 de julio	453	411
Colonia del Valle						
Stuart	3.19 a	2019	01 de junio	25 de agosto	625	200
Pawnee	3.19 a	2019	20 de mayo	07 de agosto	601	228
Stuart	3.19 b	2020	10 de junio	11 de agosto	495	124
Pawnee	3.19 b	2020	27 de mayo	31 de julio	533	181
Las Tejas						
Pawnee	3.20 a	2019	23 de mayo	30 de agosto	348	276
Western	3.20 a	2019	04 de junio	07 de agosto	246	214
Pawnee	3.20 b	2020	5 de junio	20 de agosto	349	220
Western	3.20 b	2020	10 de junio	01 de agosto	277	188

HFr: Horas de frío reales

UFUM: Unidades de Frío Utah Modificadas

La fecha de liberación de la endodormición se determinó mediante el método de varetas de un año como se informó en las figuras 3.1a y b.

3.4.7.1. Requerimiento de frío según el modelo de unidades de frío Utah modificado

En “Rosario de Colana” los requerimientos de frío de ‘Chandler’ fueron siempre mayores que los de ‘Trompito INTA’, siendo para el año 2019 de 663 y 465 UFUM, respectivamente. Mientras que para el año 2020 fueron de 755 y 566 UFUM.

Para la localidad de “Amadores”, el cultivar ‘Chandler’ en comparación a ‘Trompito INTA’, tuvo un comportamiento semejante al observado en “Rosario de Colana”. En 2019 se registró para ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’ un requerimiento de frío de 700 y 439 UFUM, respectivamente. Para el año 2020, la cantidad de frío necesario para superar la endodormición fue un poco menor al del año 2019, cuantificándose 602 y 411 UFUM para ‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’, respectivamente.

Por otro parte, en la localidad de “Las Tejas”, los requerimientos de frío en 2019 para ‘Pawnee’ y ‘Western’ fueron 276 y 214 UFUM, respectivamente. Mientras que en 2020 fueron de 220 y 188 UFUM. Se observó que el frío acumulado estimado para superar la endodormición en los dos años por este modelo fue mayor en ‘Pawnee’ que en ‘Western’.

En “Colonia del Valle”, el requerimiento de frío para ‘Stuart’ fue de 200 y 124 UFUM para 2019 y 2020, respectivamente. Mientras que ‘Pawnee’ requirió 228 y 181 UFUM en 2019 y 2020, respectivamente. Se observó que para este sitio los requerimientos de frío calculados en los dos años por este modelo fueron mayores en ‘Pawnee’ que en ‘Stuart’.

3.4.7.2. Requerimiento de frío según el modelo de horas de frío

Tanto en “Rosario de Colana” como en “Amadores” el cultivar ‘Chandler’ presentó un requerimiento de horas frío mayor que ‘Trompito INTA’ (Tabla 3.10). Para el caso de ‘Chandler’ el requerimiento de frío osciló entre 725 y 860 HF, mientras que en ‘Trompito INTA’ osciló entre 426 y 604 HF, dependiendo del año y del sitio (Tabla 3.10).

En cuanto a los cultivares de pecan, ‘Stuart’ fue para el año 2019 el que mayor cantidad de horas de frío necesitó para cubrir sus requerimientos, cuyo valor fue de 625 HF, mientras que en 2020 requirió 495 HF.

Luego le siguió ‘Pawnee’, con valores que oscilaron entre 348 y 601 HF, dependiendo del año y el sitio. En “Colonia del Valle” los requerimientos de frío de ‘Pawnee’ fueron mayores que en “Las Tejas”, siendo la diferencia importante en términos relativos (35 %) (Tabla 3.10). Finalmente, ‘Western’ requirió la menor acumulación de frío, con valores entre 246 y 277 HF, según el año.

La variación de los requerimientos de frío entre años para todos los cultivares evaluados mediante el modelo de horas por debajo de 7 °C (HF) fue más bajo que el modelo de UFUM. El modelo de HF no solo redujo considerablemente la variabilidad entre años, sino que también disminuyó las diferencias entre condiciones climáticas marcadamente diferentes en las diversas áreas estudiadas en Catamarca. Por otro lado, en las localidades de menor altitud los requerimientos de frío evaluados por el modelo de UFUM presentaron una mayor variación que el modelo de HF. Para estas áreas (cálidas) aparentemente el modelo de UFUM no se adapta para la determinación de los requerimientos de frío.

Las diferencias observadas en los valores de requerimientos de frío para superar la dormición entre el año 2019 y 2020 pueden estar relacionadas a diferentes factores durante la temporada de crecimiento. Factores tales como como la luz (Hernández *et al.*, 2021), nutrición vegetal (Fadón *et al.*, 2018; Brighenti, 2012), la persistencia de las hojas (Gariglio *et al.*, 2012) y otros factores ambientales, que pueden modificar el requerimiento de frío de un año a otro (Fernández *et al.*, 2020; Tominaga *et al.*, 2022).

El conocimiento de los requerimientos de frío calculados en las VDA expuestas a la acumulación natural de frío en condiciones de campo es muy interesante, siendo en general ligeramente menores y más variables respecto a los calculados en las condiciones de acumulación de frío artificial en cámara (Tabla 3.11). Estos resultados se corresponden con los de Gariglio *et al.* (2006a) quienes reportaron

que bajo condiciones de acumulación de frío artificial el cultivar de duraznero ‘Flordaking’ superó la dormición con 200 HF para las yemas vegetativas, mientras que Gariglio *et al.* (2012) obtuvo bajo condiciones de acumulación de frío natural a campo, un requerimiento entre 136 y 172 HF para el mismo cultivar.

Tabla 3.11. Rango de requerimiento de frío de las varetas de un año calculado para los cultivares de nogal europeo (‘Chandler’ y ‘Trompito INTA’) y pecan (‘Stuart’, ‘Pawnee’ y ‘Western’), para alcanzar el valor de la estabilización del tiempo medio de brotación (TMB) tanto en las yemas terminales (YT) y laterales (YT), en 2 años consecutivos de estudio.

Cultivar	Horas de Frío (HF) ^a	
	VDA ^b	VDAC ^c
Chandler	800-800	725-860
Trompito INTA	500-600	426-604
Stuart	600-800	495-625
Pawnee	400-500	348-601
Western	300-400	246-277

^a Horas de frío: requerimiento de frío del cultivar.

^b Requerimiento de frío de varetas de un año expuesta a la acumulación de frío artificial, para los años 2018 y 2019.

^c Requerimiento de frío de varetas de un año expuesta a la acumulación de frío natural a campo para los años 2019 y 2020.

En los cultivares de nogal europeo los requerimientos de frío se determinaron entre 426 y 860 HF (Tabla 3.10). Estos resultados son semejantes con los sugeridos por otros autores como Chandler *et al.* (1937), quienes estimaron el requerimiento de frío de cultivares de nueces entre 400 y 1.500 h por debajo de 7 °C.

Carabajal (2015a y 2015b) hace referencia a la falta de información científica sobre los requerimientos de frío y calor de los cultivares de nueces y genotipos de nogal INTA. En tal sentido, los resultados obtenidos en esta tesis aportan al conocimiento sobre los requerimientos de frío de los cultivares de nueces en especial a los nuevos genotipos de nogal INTA, y proporciona una metodología para evaluar los genotipos faltantes. Esta información es una herramienta muy valiosa al momento de establecer las potenciales áreas para su cultivo.

El requerimiento de frío de los cultivares de pecan estudiados variaron desde 246 a 625 HF. De acuerdo a Grageda Grageda *et al.* (2013), en términos

generales el pecan requiere de 400 a 1.000 horas frío (≤ 7.2 °C), según el cultivar. Mientras que Faraçlar (1988) informó que fue de alrededor de 400 a 800 HF. Por otro lado, Amling y Amling (1980) informaron que los requerimientos de frío de los cultivares 'Mahan', 'Success', 'Desirable' y 'Western' eran de 300 a 400 HF y de 700 a 1.000 HF para 'Stuart'. En otros estudios, El Deen y El Deen (1993) y McEachern *et al.* (1978) indicaron que los requerimientos de frío de los cultivares de nuez pecan eran 300 a 500 HF para 'Desirable', 'Mahan', 'Success' y 'Western', y 600 HF para 'Stuart'.

En resumen, el cultivar de pecan 'Stuart' fue el que mayor cantidad de frío necesitó para alcanzar el valor de TMB correspondiente a la liberación de la endodormición (Tabla 3.10). 'Pawnee' fue el que le siguió, y finalmente 'Western' resultó ser el cultivar con menor requerimiento de frío.

Como resultado de su menor variación y amplia aplicación, se podría recomendar al modelo de horas de frío para cuantificar los requerimientos de frío del nogal y el pecan en condiciones climáticas cálidas. Sin embargo, se necesitan modelos más complejos y precisos para abrir nuevas vías para comprender mejor el complejo proceso de la dormición.

Por otro lado, un aspecto a resaltar es que el valor de TMB de las yemas laterales siempre fue más alto que el de las yemas terminales en los cinco cultivares estudiados. Balandier *et al.* (1993a), afirma que los primeros brotes influyen en las demás yemas cercanas que pueden permanecer inactivas. Según Viti *et al.* (2003) trabajando con damasco, también informaron diferencias en el nivel de la profundidad de dormición entre los brotes vegetativos de una misma rama.

De acuerdo a algunos autores las yemas terminales requieren menos acumulación de frío que las yemas laterales (Campoy *et al.* 2011a; Erez, 2000; Naor *et al.*, 2003; Scalabrelli y Couvillon, 1986; Tabuenca, 1964). Sin embargo, en este estudio tanto las yemas terminales como las laterales alcanzaron el punto final de la endodormición con la misma acumulación de frío indicando que sus requerimientos de frío son los mismos. Pero lo que fue diferente entre las yemas

laterales y terminales fue el requerimiento de calor (Guerriero *et al.*, 1987). Por lo tanto, no debe confundirse los requerimientos de frío con la profundidad de la dormición de ambos tipos de yemas (valor de TMB) (Champagnat, 1983; Crabbé y Barnola, 1996; Mauget y Rageau, 1988; Rageau, 1978; Williams *et al.*, 1978).

3.4.8. REQUERIMIENTOS DE CALOR

De acuerdo a lo observado en las curvas de dinámica del TMB, desde la caída de las hojas y con la acumulación de frío a campo, se produjo un descenso del TMB de las yemas vegetativas terminales y laterales.

A medida que avanzaba el invierno y con ello la acumulación de frío, se observó que las VDA extraídas a campo, lograron alcanzar el valor de TMB correspondiente al fin de la endodormición, es decir, la respuesta del TMB al frío se saturó, lo que indica que las yemas pasaron al estado de ecodormición (Balandier *et al.*, 1993b; Dennis Jr., 2003). Esto significa que la brotación está controlada por factores ambientales y no por factores internos de la yema como ocurre durante la endodormición (Gariglio *et al.*, 2012).

Se acepta que el TMB es indicativo del requerimiento de calor de las yemas para brotar (Citadin *et al.*, 2001; Faust *et al.*, 1997; Gariglio *et al.*, 2006a; Richardson *et al.*, 1974; Tersoglio *et al.*, 2006) porque el TMB es la cuantificación del tiempo a temperatura constante que las yemas necesitan para alcanzar la brotación. También Chandler (1960) y Tamura *et al.* (1998) han informado la liberación de la dormición después de la aplicación de altas temperaturas.

O sea que al TMB, si lo convertimos en Grados Días de Crecimiento (GDC) expresa el requerimiento de calor, el cual es mayor cuanto más dormida esté la yema. Los cultivares de nogal europeo y pecan, en reposo o parcialmente enfriados, son capaces de brotar, pero demandan una acumulación de calor mayor en comparación con aquellos en los que el requerimiento de frío fue cubierto. Este resultado se corresponde con el obtenido en otras especies como duraznero (Citadin *et al.*, 2001; Pawsut *et al.*, 2004; Richardson *et al.*, 1975), cerezo (Tersoglio *et al.*, 2006) y en algunos genotipos iraníes de nogal europeo (Aslamarz *et al.*, 2009).

Se observó que para las distintas zonas donde se realiza nogal europeo, 'Trompito INTA' presentó menor requerimiento de calor en comparación a 'Chandler'. Entre los cultivares de pecan, 'Western' fue el cultivar con el menor requerimiento de calor, seguido de 'Pawnee', mientras que 'Stuart' tuvo el requerimiento de calor más alto.

Una vez cubierto los requerimientos de frío el tiempo medio hasta brotación (TMB) de los cultivares de nogal europeo y pecan están entre los 35 y 70 días. Este es un valor alto si lo comparamos con el TMB de otras especies frutales, como ser el duraznero donde los valores de TMB se encuentran entre los 3 y 18 días, dependiendo del cultivar (Balandier *et al.*, 1993a, 1993b; Gariglio *et al.*, 2006a; Gariglio *et al.*, 2012; Lam-Yam, 1990). En damasco el TMB se estabiliza en valores comprendidos entre los 12 y 18 días (Campoy *et al.*, 2011a y 2011b). Por otro lado, en los cultivares de higuera (*Ficus carica* L.) el TMB estuvo entre los 10 y 20 días dependiendo del cultivar (Oukabli y Mekaoui, 2012).

Según Dennis Jr. (2003) y Gariglio *et al.* (2012), el requerimiento de frío se satisface cuando el TMB se estabiliza (deja de disminuir) en respuesta a una acumulación creciente de horas de frío a campo. El valor estabilizado representa el requerimiento de calor para la brotación. Sin embargo, de acuerdo a la dinámica del TMB obtenidos para los distintos cultivares de nogal y pecan, en las extracciones el TMB no llegó a estabilizarse, es decir, continuó disminuyendo de manera significativa. Esta situación podría estar relacionada con la acumulación térmica a campo que reciben las distintas muestras de VDA, lo cual no ocurre en las cámaras de frío cuando se les suministra frío artificial.

Por esta razón, es que para el punto final de la endodormición de los cultivares estudiados, se consideró el valor de TMB estabilizado, obtenido en el experimento de requerimientos térmicos pertenecientes al capítulo II. Cuando el TMB disminuye de ese valor significa que el cultivar ha pasado a un estado de ecodormición.

3.4.9. MODELOS PARA SIMULAR LA EVOLUCIÓN DE LA DORMICIÓN

Se ha observado que en los lugares más cálidos las plantas de nogal y pecan de un mismo cultivar logran superar la dormición con una menor acumulación de frío en comparación con los sitios más fríos (Tabla 3.10; Fig. 3.22).

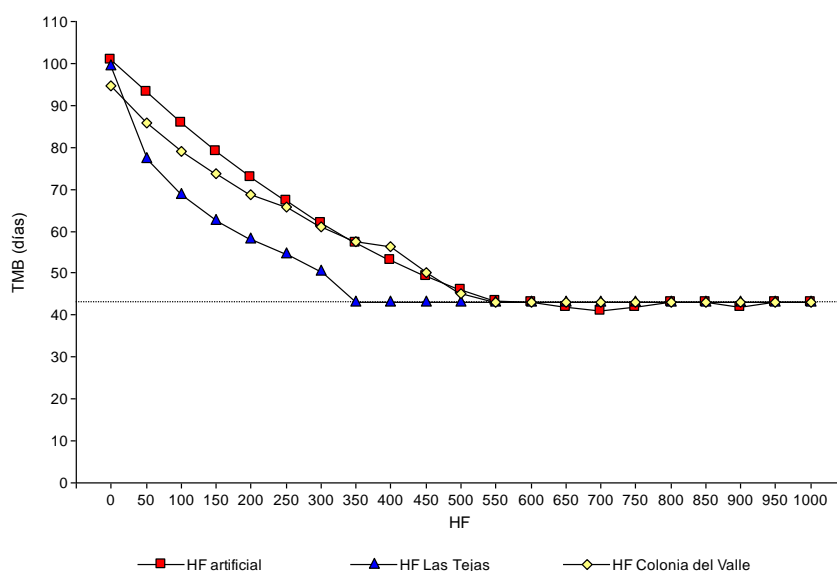


Figura 3.22. Evolución del tiempo medio de brotación (TMB) de varetas del cultivar 'Pawnee' con acumulaciones de frío artificial y con acumulaciones de frío a campo en las localidades de Las Tejas (sitio más cálido) y Colonia del Valle (sitio más frío). La línea punteada indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para 'Pawnee').

La máxima profundidad de dormición de los cultivares de nogal y pecan se alcanzaron en general antes en las áreas cálidas que en áreas frías. Como los fotoperiodos fueron bastante similares en estas áreas (misma latitud), las condiciones climáticas impuestas por las diferentes altitudes podrían explicar estas diferencias, tal como se demostró en la Fig. 3.21 que las bajas temperaturas otoñales disminuyeron la profundidad máxima de la dormición tanto de los nogales como de los pecanes. Por lo tanto, cuanto más cálida es la zona, más temprana es la dormición, y más profunda. Además, dentro de todas las áreas estudiadas, la liberación de la endodormición fue más temprano en las áreas más cálidas que en las más frías.

La liberación de la endodormición de los cultivares de damasco en áreas cálidas también ocurre antes que en las áreas frías, teniendo en cuenta estos

resultados se planteó la hipótesis de una variación clinal¹ en la progresión de la dormición, es decir, la variación en las condiciones climáticas puede afectar el ciclo de la dormición y, en consecuencia, la fenología general de la planta (Campoy *et al.*, 2011a). Por lo tanto, la reanudación más temprana del crecimiento debido a las temperaturas favorables desde fines del invierno podría estar relacionada con la variación clinal entre zonas frías y cálidas (Campoy *et al.*, 2011a).

Estos antecedentes plantean la duda acerca de la posibilidad de que los cambios en la profundidad de la dormición (TMB) se darían simultáneamente por la acumulación de frío y de calor, ya que en última instancia la dormición es un freno al proceso metabólico que incrementa los requerimientos térmicos (Hassankhah *et al.*, 2017). Por lo tanto, de acuerdo a este criterio el TMB cada día disminuiría por dos razones, el efecto del frío que destraba el metabolismo, pero al mismo tiempo se acumularía calor. Esta situación también fue informada por Campoy *et al.* (2011a), quienes encontraron que para los cultivares de damasco ('Suapriseven' y 'Búlida') los requerimientos de frío necesarios para la liberación de la dormición fueron significativamente diferentes en las distintas áreas de cultivo. Estos resultados concuerdan también con los encontrados en duraznero por Balandier *et al.* (1993a) bajo condiciones climáticas marcadamente diferentes.

Esta falta de consistencia en el requerimiento de frío para superar la dormición genera serias dudas sobre la confiabilidad de los modelos utilizados (Campoy *et al.*, 2011a). En consecuencia, surgieron algunas preguntas, que también fueron planteadas en estudios previos por otros autores como Campoy *et al.* (2011a) y Balandier *et al.* (1993b). Por ejemplo, ¿podemos usar estos modelos lineales durante el período de la dormición para caracterizar la progresión de la dormición, usando el efecto de la temperatura como la única variable? ¿Podría haber un efecto desigual de la temperatura y otras variables durante el período de endodormición? ¿Es el requerimiento de frío de un cultivar una constante, o es variable y depende del medio ambiente? ¿Variables como fotoperíodo (Heide,

1. Cambio gradual de rasgos fenotípicos de una misma especie por influjos y condiciones medioambientales (Aravanopoulos *et al.*, 2015).

2008), tiempo de exposición a bajas temperaturas y combinación de frío y calor deben incluirse en los modelos? (Campoy *et al.*, 2011a).

Es probable que la aparición de los cultivares de menores requerimientos de frío y la expansión de la fruticultura de clima templado a áreas más cálidas está permitiendo obtener una visión diferente del estudio de la dormición. En zonas frías, existe un período de acumulación de frío bien definido (invierno), y otro donde se acumula calor para iniciar una nueva estación de crecimiento (primavera). Sin embargo, en áreas más cálidas, con alternancia de bajas y altas temperaturas durante el período otoño-invierno-primaveral, comienzan a observarse comportamientos anómalos que no pueden ser explicados con los conocimientos actuales.

En base a los resultados de experimentación obtenidos en esta tesis se proponen modelos que simulan los cambios en el TMB durante el período invierno-primaveral, tanto para el nogal europeo como para el pecan. Los modelos propuestos presentan la particularidad de que se basan en un mayor conocimiento del fenómeno fisiológico de la dormición de cada uno de los cultivares estudiados. Los avances del conocimiento fisiológico de la dormición, fundamentalmente en lo que respecta a la señalización externa relacionada con la progresión de la dormición, abriría una nueva mirada de la simulación de la dormición, posibilitando el desarrollo de modelos más fiables (Campoy *et al.*, 2011b).

La información necesaria para simular la evolución del TMB son los datos climáticos de campo y la evolución del TMB en el ensayo de acumulación de frío artificial obtenido en el capítulo anterior. Los datos observados son los valores del TMB obtenidos para cada cultivar en distintas fechas de extracción, años y diferente localidad presentados en este capítulo. Se realizaron los cálculos diarios de los cambios del TMB y se simularon dos situaciones.

En uno de los modelos se propuso que la disminución diaria del valor de TMB es consecuencia de la sumatoria del efecto del frío (calculado en base a la curva de acumulación artificial de frío) y de las sumas térmicas (M2); y en el segundo

modelo se hipotetizó que el cambio diario en el valor del TMB es consecuencia del efecto predominante de uno de los dos factores mencionados (M1).

3.4.9.1. Evaluación del ajuste predictivo del modelo

3.4.9.1.1. Fecha de fin de la endodormición

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de Freese, se observó que para los cultivares de nogal europeo los valores pronosticados por los modelos de simulación “M1” y “M2”, para la fecha de fin de la endodormición no se ajustaron adecuadamente con los obtenidos experimentalmente ($p < 0.05$) (Fig. 3.23a).

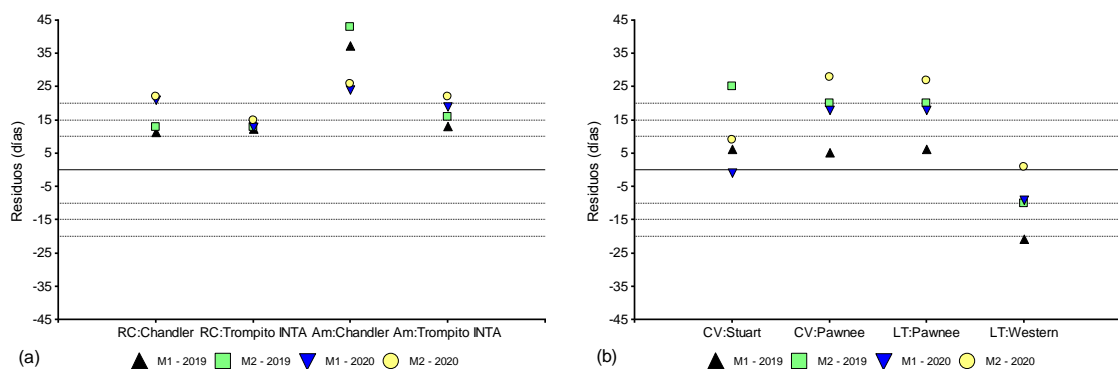


Figura 3.23. Relación de las desviaciones entre las fechas de fin de endodormición predichas por los modelos M1; M2 y las observadas, expresadas en días por sitio y cultivar. (a) nogal europeo, (b) pecan. La línea llena representa el valor real de la fecha de fin de endodormición. Las líneas punteadas representan el rango de tolerancia establecido ± 10 ; ± 15 ; ± 20 días. M1: Modelo del efecto relevante diario (frío o calor). M2: Modelo de la suma de los efectos diarios (frío + calor). RC: Rosario de Colana; Am: Amadores; CV: Colonia del Valle; LT: Las Tejas.

Por otro lado, para los cultivares de pecan ‘Stuart’ y ‘Pawnee’ el modelo “M1” presentó un buen ajuste a los valores reales de fecha de fin de endodormición ($p > 0.05$) (Fig.3.23b y 3.24). No ocurrió lo mismo con el cultivar ‘Western’.

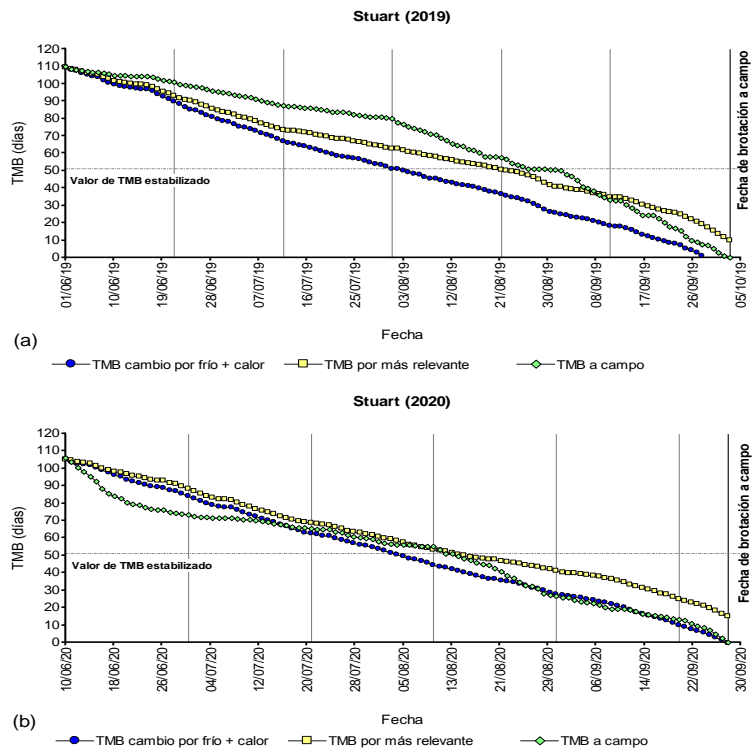


Figura. 3.24. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Stuart’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Colonia del Valle”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (51 días para ‘Stuart’). Las líneas de corte vertical representan las fechas de extracciones de varetas a campo.

En cuanto a los valores de la fecha de fin de la endodormición pronosticados por el modelo “M2” no tuvo un buen ajuste con los datos experimentales ($p < 0.05$). Sin embargo, para el cultivar ‘Western’ el mejor ajuste se alcanzó con el modelo “M2” (Fig. 3.23b y 3.25).

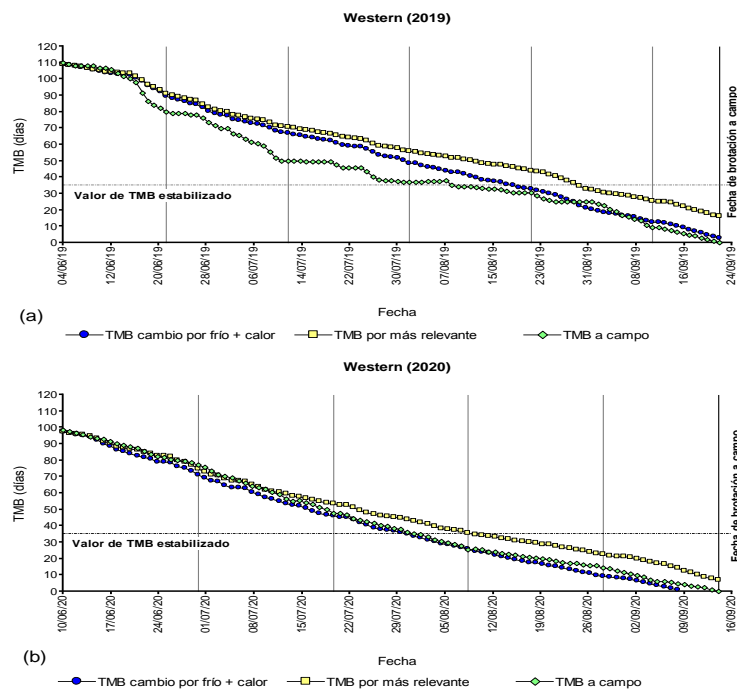


Figura 3.25. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Western’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Las Tejas”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (35 días para ‘Western’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.

Adicionalmente, la distribución de los puntos en los gráficos 3.23a y b, mostraron que en general las diferencias estuvieron por encima de la recta que representa el valor real de las fechas de fin de endodormición, esto indica que las fechas de fin de la endodormición predichas por los modelos ocurrieron antes con respecto a la fecha real de fin de la endodormición.

3.4.9.1.2. Fecha de brotación a campo

Los resultados obtenidos por el modelo “M1”, para el cultivar ‘Chandler’ ubicados en “Rosario de Colana” y “Amadores”, indicaron que cuando se empleó el rango de tolerancia de ± 10 días, los valores predichos no se ajustaron a los valores reales de la fecha de brotación a campo ($p < 0.05$). Sin embargo, con un rango mayor de ± 15 y ± 20 días, los valores del modelo “M1” presentaron un buen ajuste con la fecha de brotación a campo ($P > 0.05$) (Fig. 3.26a). Por otro lado, en la localidad de “Amadores” el cultivar ‘Trompito INTA’ fue el que presentó el mejor

ajuste para los tres valores de discrepancia establecidos (Fig.3.27). Mientras que no ocurrió lo mismo en “Rosario de Colana” (Fig. 3.26a).

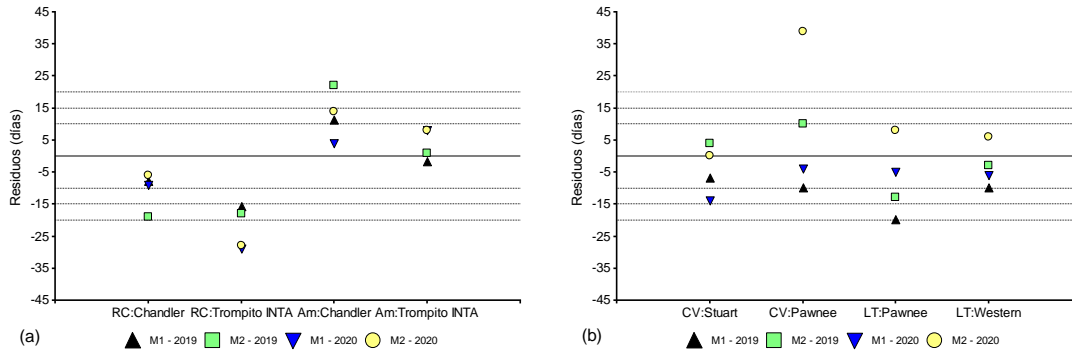


Figura 3.26. Relación de las desviaciones entre las fechas de brotación a campo predichas por los modelos M1; M2 y las observadas, expresadas en días por sitio y cultivar. (a) nogal europeo, (b) pecan. La línea llena representa el valor real de la fecha de fin de endodormición. Las líneas punteadas representan el rango de tolerancia establecido ± 10 ; ± 15 ; ± 20 días. M1: Modelo del efecto relevante diario (frío o calor). M2: Modelo de la suma de los efectos diarios (frío + calor). RC: Rosario de Colana; Am: Amadores; CV: Colonia del Valle; LT: Las Tejas.

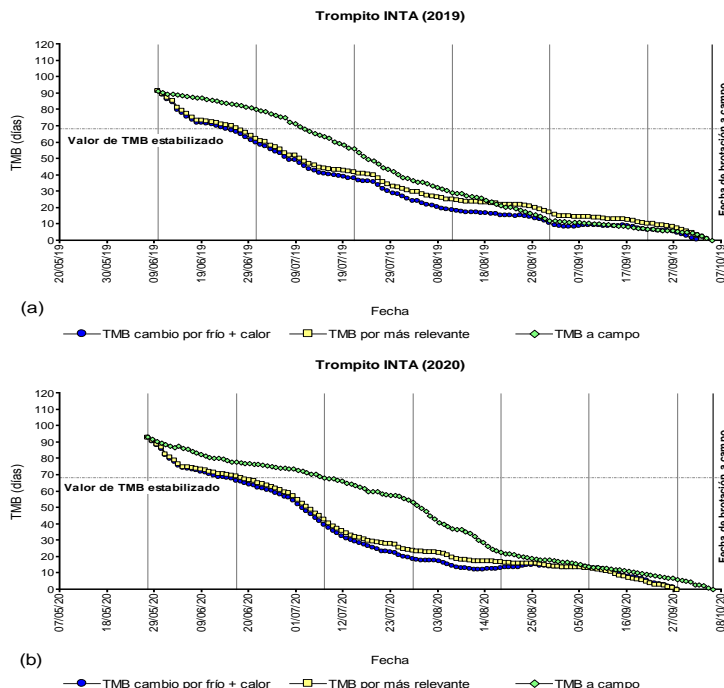


Figura. 3.27. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de nogal europeo ‘Trompito INTA’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Amadores”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (68 días para ‘Trompito INTA’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.

En cuanto al modelo “M2” solo se observó un buen ajuste para ‘Trompito INTA’ en la localidad de “Amadores” (Fig. 3.26a y 3.27).

Por otra parte, para los cultivares de pecan ‘Stuart’ y ‘Western’ los valores pronosticados por el modelo de simulación “M1”, para la fecha de brotación a campo se ajustaron a los valores obtenidos experimentalmente solo para el rango de tolerancia de ± 15 y ± 20 días ($p > 0.05$). Mientras que para el cv. ‘Pawnee’ ubicado en “Las Tejas” solo se ajustó para el valor de tolerancia de ± 20 días. En cambio, en “Colonia de Valle”, ‘Pawnee’ presentó un mejor ajuste ($p > 0.05$) (Fig. 3.26b y 3.28).

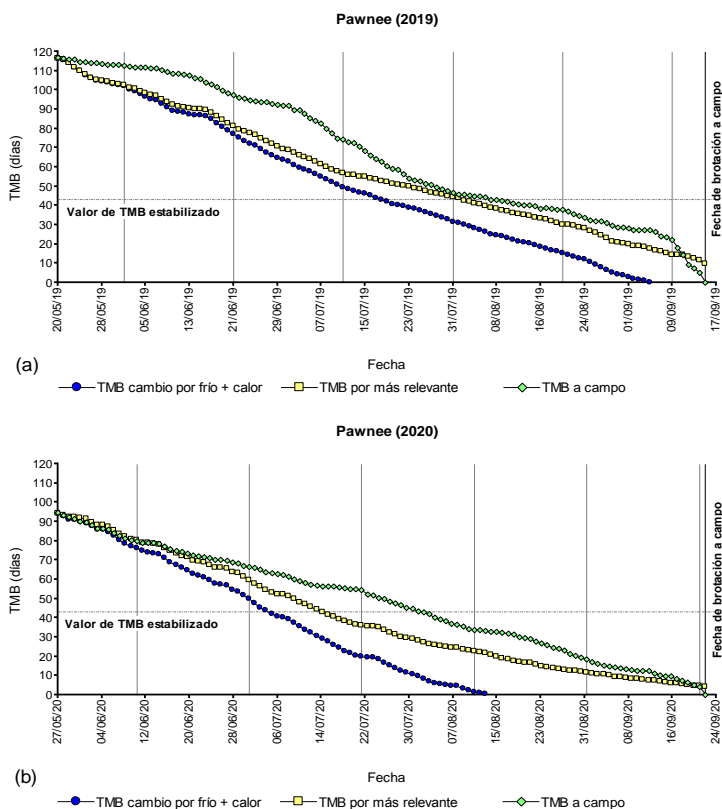


Figura 3.28. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor) para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Pawnee’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicado en la localidad de “Colonia del Valle”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para ‘Pawnee’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.

En cuanto al modelo “M2” los valores simulados se ajustaron muy bien a los valores reales de la fecha de brotación a campo, para los tres valores de tolerancia establecidos, para las cvs. ‘Western’ y ‘Pawnee’ situadas en “Las Tejas”

(Fig. 3.25 y 3.29), y para el cv. ‘Stuart’ ubicado en “Colonia del Valle” (Fig. 3.24). Mientras que para la cv. ‘Pawnee’ localizada en “Colonia del Valle” el modelo “M2” no se ajustó a los valores reales de la fecha de brotación a campo, para ninguno de los valores de tolerancia establecidos (Fig. 3.26b).

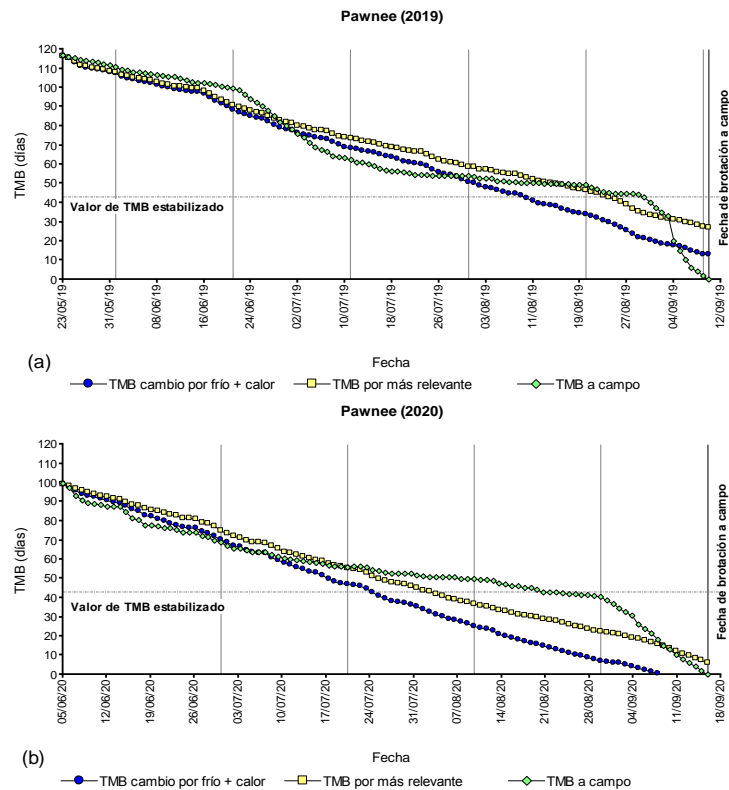


Figura 3.29. Progresión de la dormición observada (TMB a campo) y simuladas por dos modelos (TMB cambia por frío + calor; TMB cambia por frío o por calor), para las yemas vegetativas del cultivar de pecan ‘Pawnee’ para el año 2019 (a) y 2020 (b), ubicados en la localidad de “Las Tejas”. La profundidad de la dormición fue expresada como tiempo medio de brotación (TMB). La línea punteada horizontal indica el valor de TMB correspondiente a la liberación completa de la endodormición (43 días para ‘Pawnee’). Las líneas de corte vertical representan las fechas extracciones de varetas a campo.

3.5. CONCLUSIONES

- El modelo Utah Modificado no simuló adecuadamente la acumulación de frío en las condiciones de campo. Por lo tanto, se podría recomendar al modelo de horas de frío para cuantificar los requerimientos de frío del nogal y el pecan en condiciones climáticas cálidas. Sin embargo, se necesitan modelos más complejos y precisos para abrir nuevas vías para comprender mejor el complejo proceso de la dormición.
- El patrón decreciente de la progresión de la dormición de los cultivares evaluados estuvo marcadamente influenciado por las temperaturas de otoño y principios de invierno.
- La liberación de la dormición fue más temprana en las yemas terminales a pesar que el patrón y la máxima profundidad de dormición para un mismo cultivar fueron similares en las yemas vegetativas terminales y laterales.
- Las yemas laterales y terminales tenían requerimientos de frío similares, pero la profundidad de dormición fue mayor en las primeras. Por ello, el requerimiento de calor fue mayor en las yemas laterales en todo el periodo de dormición.
- De acuerdo a la acumulación otoñal de frío la profundidad de dormición varía entre los años para un mismo cultivar. El conocimiento de la profundidad de la dormición de un cultivar tiene implicaciones prácticas y económicas para la producción de árboles frutales de hoja caduca. Se requiere una comprensión de la profundidad de la dormición y la fecha de interrupción de la dormición para optimizar la distribución geográfica de las especies en función de su adaptación y la fecha de aplicación de los productos químicos de interrupción de la dormición.
- Cuanto más cálida es la zona, más temprana es la inducción a la dormición, y más profunda. Además, dentro de todas las áreas estudiadas, la liberación de la endodormición fue más temprano en las áreas más cálidas

que en las más frías. Asimismo, la liberación de la dormición tendió a ser más temprana en cultivares con bajos requerimientos de frío.

- El conocimiento de los requerimientos de frío calculados en las VDA expuestas a la acumulación natural de frío en condiciones de campo fue diferente, siendo en general ligeramente menores y más variables respecto a los calculados en las condiciones de acumulación de frío artificial en cámara.
- 'Chandler' y 'Stuart' tuvieron el mayor requerimiento de frío y de calor. 'Trompito INTA' y 'Pawnee' presentaron requerimientos intermedios; y finalmente 'Western' tuvo el menor requerimiento de frío y calor.
- La inducción de la dormición en nogal europeo y pecan parece responder más al fotoperíodo, mientras que la acumulación de frío antes de la caída de las hojas se relacionó inversamente con la profundidad máxima de la endodormición en ambas especies.
- Los modelos de evolución de la dormición propuestos presentaron un buen ajuste solo para algunos cultivares y sitios, mientras que para las otras situaciones no se pudo estimar con precisión la progresión de la dormición. Los avances del conocimiento fisiológico de la dormición, fundamentalmente en lo que respecta a la señalización externa relacionada con la progresión de la dormición, abriría una nueva mirada de la simulación de la dormición, posibilitando el desarrollo de modelos más fiables. Los datos generados en esta tesis permitirán avanzar en la mejora de los modelos presentados, y en nuevas versiones de los mismos, aspecto que escapa a los objetivos de este manuscrito.
- En el contexto del calentamiento global, estos resultados son de gran importancia en los enfoques de modelado para predecir las fechas de liberación de la endodormición y brotación, ya que constituiría una herramienta para optimizar la distribución geográfica de las especies en

función de su adaptación y la fecha de aplicación de los productos químicos para la interrupción de la dormición.

**CAPÍTULO 4. DISPONIBILIDAD DE FRÍO INVERNAL DE
LAS ZONAS PRODUCTORAS DE NOGAL EUROPEO Y
PECAN DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA,
ARGENTINA**

CAPÍTULO 4

4. DISPONIBILIDAD DE FRÍO INVERNAL DE LAS ZONAS PRODUCTORAS DE NOGAL EUROPEO Y PECAN DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA, ARGENTINA

4.1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Catamarca está ubicada en la región noroeste de la República Argentina entre los 25° 12' y 30° 04' de Latitud Sur, y 69° 03' y 64° 58' de Longitud Oeste. Su superficie es de 102.602 km² y sólo el 22 % de la misma está constituido por valles y llanuras, siendo el resto terreno montañoso y poco apto para la actividad agropecuaria (Nuñez Aguilar y Alvarez de Toledo, 2004).

La mayor parte de la provincia es de clima árido y semiárido. Está surcada por cordones montañosos, que se ubican en sentido Norte-Sur y constituyen una barrera para el paso de los vientos húmedos provenientes del Este. Ello provoca la disminución de las precipitaciones en sentido Este-Oeste. Los vientos húmedos del Pacífico son interceptados por la Cordillera de Los Andes y debido a ello no existen cursos de agua caudalosos (Sauzuk, 2020).

Presenta un clima templado continental con una precipitación media que varían entre los 400 y 500 mm anuales en el Este, disminuyendo hacia el Oeste a menos de 150 mm en la Puna cordillerana, donde el déficit hídrico es compensado por las precipitaciones níveas (Nuñez Aguilar y Alvarez de Toledo, 2004).

El clima es de los principales factores del ambiente que influyen en el desarrollo de los frutales de clima templado, ya que como factor abiótico puede generar daños en plantas cultivadas de una manera directa (falta de frío, heladas, golpes de aire y sol, granizo, sequía, etc.), así como influir en el desarrollo de desórdenes fisiológicos, plagas y enfermedades (Yoshikawa *et al.*, 2018).

El aspecto climático y en particular la dinámica de la temperatura, constituye el factor de mayor peso para explicar el comportamiento adaptativo de una especie

frutal (Alburquerque *et al.*, 2008). En la Argentina, la expansión del cultivo de frutales caducifolios ha estado condicionada principalmente por dos aspectos térmicos. La suavidad del invierno, lo cual obligó a ubicar en el sur del país a los cultivos con más exigencias de frío y el riesgo de daños por heladas primaverales propio de las zonas continentales, donde se desarrolla la mayor parte de los cultivos frutales en Argentina (Damario *et al.*, 1998).

Debido a la marcada variación altimétrica que tiene la provincia de Catamarca, posibilita el desarrollo de una fruticultura diversa, donde los frutales caducifolios ocupan importantes áreas. Esta variabilidad es también característica de las zonas de producción de frutos secos, lo que limita la determinación confiable de las potenciales áreas de producción para cada cultivar. Así, la producción de nogales ocupa micro ambientes típicos donde la oferta de frío invernal está asociada a la altura (Cólica, 2015).

La interpretación de zonas climáticas en la provincia de Catamarca es compleja debido a su geografía-topografía, presentando regiones de altura como también valles, lo cual implica grandes variaciones en los diferentes parámetros meteorológicos en las diferentes estaciones del año (Carabajal, 2015a). Por ello, es necesario conocer previamente la disponibilidad de frío invernal de cada área de cultivo del nogal (Del Barrio y Martín, 2011) y pecan, de modo que ayude a proporcionar criterios para la elección de genotipos convenientes, y mejorar la producción, y la calidad de los frutos de ambas especies.

Durante el invierno, los árboles frutales de hoja caduca ingresan en un estado denominado dormición. En este estado el árbol es capaz de resistir las bajas temperaturas, pero una vez que las yemas comienzan a brotar en primavera, la resistencia disminuye e incluso se pierde (Gonzalez Antivilo, 2018). Lang *et al.* (1987) distinguen tres estados de la dormición, la paradormición, la endodormición y la ecodormición. La endodormición es la más profunda y sólo puede ser superada si los tejidos son previamente expuestos al frío por períodos que varían según la especie y el cultivar (Sozzi *et al.*, 2008).

El tiempo necesario en el cual los tejidos deben permanecer a bajas temperaturas durante el periodo de reposo, para luego experimentar una brotación y floración normal durante la primavera, se denomina requerimientos de frío. Este requerimiento depende del tiempo en el cual las plantas están expuestas a las bajas temperaturas, como del rango de temperaturas experimentadas (Tersoglio y Naranjo, 2007a). Por lo tanto, el nogal europeo y el pecan son especies que necesitan cubrir sus requerimientos de frío para obtener producciones rentables (Del Barrio, 2020; Grageda Grageda *et al.*, 2013; Sierra *et al.*, 2007).

La dormición de las plantas tiene un gran impacto en el cultivo de los árboles frutales de hoja caduca, influyendo en procesos como la brotación, floración y el crecimiento vegetativo (Tersoglio y Naranjo, 2007b). El interés por comprender los mecanismos de imposición y liberación de la dormición se han intensificado en los últimos años como resultado de la necesidad del productor de cultivar fruta de zonas templadas en climas más cálidos donde el requerimiento de frío no se puede satisfacer adecuadamente (Botelho *et al.*, 2006).

Esto ha provocado que para optimizar la producción de frutales sea cada vez más necesario cuantificar la cantidad de frío invernal disponible en cada parcela de producción con el fin de poder contar con las especies y cultivares que mejor se adapten. Sin embargo, este desafío tiene que ser acompañado por el esfuerzo de las instituciones de investigación tanto para caracterizar las zonas de producción en cuanto a la disponibilidad u oferta de frío, así como en el mejor conocimiento del proceso fisiológico de la dormición y los requerimientos de frío de los cultivares disponibles.

4.2. OBJETIVOS

Caracterizar la oferta de frío invernal para cuatro zonas con diferente potencial productivo para frutos secos en la provincia de Catamarca.

Para ello, se han planteado los siguientes objetivos específicos.

4.2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

_Cuantificar la disponibilidad de frío real para las distintas zonas productivas actuales y potenciales para nogales y pecanes en la provincia de Catamarca. Para esta cuantificación los modelos empleados fueron el de horas de frío (HF) y de unidades de frío Utah modificadas (UFUM).

_Evaluar y comparar el modelo de horas de frío (HF) y el de unidades de frío Utah modificadas (UFUM) en las diferentes zonas de estudio.

_Estimar mediante modelos matemáticos las horas de frío (HFe) y compararlo con el número real de horas por debajo de 7,2 °C (HFr), registradas en los diferentes sitios de evaluación.

_Analizar la calidad de frío invernal para las distintas zonas evaluadas.

_Determinar la probabilidad que cada zona tiene para alcanzar una determinada cantidad de horas de frío.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1. UBICACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL ENSAYO

El estudio se realizó en cuatro zonas diferentes de la provincia de Catamarca, Argentina. Una de ellas ubicada en el Departamento Paclín, localidad “Amadores” a una altitud de 786 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), considerada marginal para el cultivo del nogal europeo. Una segunda zona, núcleo de la nogalicultura de la provincia de Catamarca, situada en el Departamento Pomán, localidad “Rosario de Colana” (1.676 m.s.n.m). También, en otros dos lugares pertenecientes a los Departamentos Valle Viejo, localidad “Las Tejas” (498 m.s.n.m), y Capayán, localidad “Colonia del Valle”, (460 m.s.n.m) (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Ubicación de los sitios de evaluación.

Sitio	Ubicación	Altitud (m.s.n.m)
Amadores	28°27'89" LS	786
	65°62'43" LO	
Rosario de Colana	28°36'10" LS	1.676
	66°15'78" LO	
Las Tejas	28°58'78" LS	498
	65°73'44" LO	
Colonia del Valle	28°69'39" LS	460
	65°90'12" LO	

En el año 2018, se inició con la investigación, en la cual para cada sitio de estudio se instaló un registrador de temperatura tipo Thermochron Ibutton Ds1921G (con rango térmico de -40 a +85 °C). Se identificó cada sensor con un rótulo INTA y una leyenda para preservar el cuidado de los dispositivos.

Los sensores fueron colocados, en el tronco de la planta, hacia el lado sur a 1,5 m sobre el nivel del suelo y con un abrigo meteorológico considerando las normativas de instalación recomendadas para el monitoreo agrícola (Carabajal, 2016). El sensor tenía como elemento de abrigo un sombrero de plástico.

El registrador Thermochron IButton DS1921G es un dispositivo robusto y autónomo que mide la temperatura del aire ambiente y guarda el valor en una sección de memoria no volátil. Se pueden almacenar hasta 2.048 mediciones de temperatura a intervalos que varían de 1 a 255 minutos. En el presente estudio se configuró el sensor (misión de lectura) para que registre el dato cada 60 minutos (24 datos/día), lo cual permitió el registro continuo de 85 días, período máximo para descargar los datos y evitar sobre escritura (overload). Para la descarga se utilizó una laptop con el programa 1Wire®; también fue requerido un cable de conexión USB port, que permite vincular el sensor con la PC.

Además, se contemplaron los registros horarios de temperaturas de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Catamarca, previas al año 2018 y de estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio. Así, los datos de temperaturas horarias previas al año 2018 para las localidades de "Rosario de Colana" y "Amadores" fueron facilitados por investigadores del INTA Catamarca,

de esta manera se completó una serie continua de 11 años (2011-2021). Por otro lado, las temperaturas horarias para “Las Tejas” fueron brindadas por el Servicio Meteorológico Nacional, logrando una serie también de 11 años (2011-2021). Finalmente, para la localidad de “Colonia del Valle” se pudo acceder a temperaturas horarias solo para dos años antes del 2018, logrando una serie de 6 años (2016-2021).

4.3.2. MODELOS DE CUANTIFICACIÓN DE FRÍO INVERNAL

Los modelos que se usaron para cuantificar la oferta de frío invernal para cada zona fueron:

4.3.2.1. Modelo de Weimberger - horas de frío

Weimberger (1950), correlacionó el comportamiento fenológico de algunos cultivares de duraznero con datos climáticos recolectados por 50 años en Fort Valley, Georgia, EE.UU. A modo de conclusión propuso que el requerimiento de frío puede ser expresado como la suma de las horas acumuladas a temperaturas menores o iguales a 45 °F (7,2 °C) las cuales denominó “horas de frío” (HF). A partir de entonces y a pesar de haber sido fijado dicho umbral para el duraznero, fue adoptado para diversas especies. Este índice ha sido utilizado no solo para la evaluación de los requerimientos de frío de cultivares, principalmente de frutales de carozo, sino también para la evaluación del clima.

4.3.2.2. Modelo de unidades de frío Utah modificado por la UC Davis

El modelo de unidades de frío Utah modificado (UFUM) por la UC Davis, establece que todas las temperaturas no tienen el mismo efecto fisiológico para que los frutales salgan del reposo invernal. El mismo consiste en una ligera modificación de los rangos originales propuestos por Richardson *et al.* (1974) (Seeley, 1996).

Se basa en una ponderación del efecto de las temperaturas como se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Unidades de frío Utah modificado (UFUM) en base a rangos de temperaturas en °C.

Modelo de unidades de frío Utah modificado		
Rangos de temperatura		UFUM
°C	°C	
< 1,1	-	0
1,1	2,2	0,5
2,2	8,9	1
8,9	12,2	0,5
12,23	15,55	0
15,6	18,33	-0,5
-	>18,3	-1

Fuente: Seeley (1996).

A diferencia del modelo de Weimberger, en el modelo Utah acumulan valores horarios positivos y negativos y se realiza la suma neta para obtener el total de unidades de frío que corresponde al período de tiempo trabajado. Cada hora ocurrida a determinada temperatura es convertida en su valor equivalente de unidades de frío, asignada por el modelo a cada temperatura o rango de temperaturas, en función del nivel de eficacia para contribuir a la salida de la dormición.

4.3.3. DISPONIBILIDAD DE HORAS DE FRÍO Y UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADA POR REGIÓN

4.3.3.1. Horas de frío reales (HFr) y unidades de frío Utah modificada (UFUM)

Los índices que se utilizaron para cuantificar el frío invernal en las cuatro localidades seleccionadas fueron las horas de frío (HF) y las unidades de frío Utah modificada (UFUM). Estos modelos requieren de temperatura horaria, es por ello que se recogieron las temperaturas por hora desde mayo a agosto, ya que las disponibilidades regionales de frío deben referirse solamente al período de descanso invernal (Gao *et al.*, 2012; García, 2012; Martinelli Echenique, 2016).

El inicio de los conteos de las HFr y las UFUM se realizaron para cada año en el periodo antes mencionado. Las HFr y las UFUM de los cuatros sitios se realizaron con datos de temperaturas horarias de los años 2011 al 2021 para

“Rosario de Colana”, “Amadores” y “Las Tejas”, mientras que para “Colonia del Valle” el periodo analizado fue 2016-2021.

A partir de los valores de temperaturas horarias pertenecientes a los meses de mayo a agosto, se calcularon las horas de frío reales anuales (HFra) y mensuales (HFrm); Unidades de frío Utah modificado reales anuales (UFUMa) y mensuales (UFUMm); y las correspondientes tasas medias diarias de cada uno de los años de estudio. Además, se determinaron las respectivas medias, valores máximos y mínimos, coeficiente de variación (CV) y desviación estándar (DE) de cada zona. Para los cálculos, el tiempo se expresó en días julianos (DJ). Para el análisis estadístico se empleó el software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

4.3.3.2. Horas de frío estimadas (HFe)

La determinación de horas de frío tropieza con ciertas dificultades, debido a la falta de registros y observaciones horarias de la temperatura del aire (Herrera *et al.*, 2005). Por tal motivo se han desarrollado métodos que basándose en datos de registros comunes (temperaturas máximas y mínimas diarias, temperaturas medias mensuales), permiten evaluar con cierto grado de precisión el cómputo de horas de frío (Rodríguez *et al.*, 1983). Algunos de estos métodos son más exactos que otros o son más parecidos a la realidad de una zona, aunque los métodos que mejor se ajustan con los datos reales cambian de zona en zona por lo que es importante seleccionar el más apropiado para cada una (Melgarejo Moreno, 1996).

Con las temperaturas medias mensuales de los meses más fríos (mayo, junio, julio y agosto) correspondientes a la serie 2011-2021 y 2016-2021 se estimaron las HFe para las localidades de “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle”, respectivamente. El análisis estadístico de los datos se realizó de manera similar a lo expresado para las horas de frío reales.

Los métodos empleados para la estimación de HFe fueron:

4.3.3.2.1. Sharpe (1970)

$$HFe = \Sigma Y$$

$$Y = 638 - 33,007 x$$

Y = Horas de frío mensual

x = temperatura media mensual del mes considerado

4.3.3.2.2. Da Mota (1957)

$$HFe = \Sigma Y$$

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

Y = Horas de frío mensual

x = temperatura media mensual del mes considerado

Por otra parte, a partir de los valores de temperaturas medias mensuales pertenecientes a los meses más fríos (junio y julio), de cada localidad y para cada año, se calculó el valor de las horas de frío acumuladas (HFe) mediante el método de:

4.3.3.2.3. Weimberger (1954):

$$HFe = 2139,39 - 129,91 x$$

HFe = Horas de frío acumuladas

x = temperatura media de las medias de los meses de Junio y Julio

Con los valores de temperaturas máximas y mínimas diarias para la misma serie y localidad, se calcularon las HFe a través de las fórmulas de Crossa-Raynaud (1956), Sánchez Capuchino (1967) (García, 2012) y Anderson y Seeley, (1992) (Alonso *et al.*, 2001).

4.3.3.2.4. Crossa- Raynaud (1956):

$$HFe = \Sigma hf$$

HFe horas de frío acumuladas durante los meses de mayo, junio, julio y agosto.

hf = horas de frío acumuladas en un día.

$$hf = 24 ((7 - m) / (M - m))$$

M = Temperatura máxima diaria; m = temperatura mínima diaria

4.3.3.2.5. Sánchez Capuchino (1967):

$$\text{HFe} = \Sigma \text{hf}$$

HF = horas de frío acumuladas durante los meses de mayo, junio, julio y agosto.

hf = horas de frío acumuladas en un día.

$$\text{hf} = 36 ((7 - \text{m}) / (\text{M} - \text{m}))$$

M = Temperatura máxima diaria; m = temperatura mínima diaria.

4.3.3.2.6. Anderson y Seeley (1992)

Se trata del método utilizado en la zona intermontana de Estados Unidos, para las estaciones que no cuentan con registro horario de la temperatura. Se asume una marcha lineal de la temperatura horaria y una diferencia de 12 horas entre la ocurrencia de la mínima y de la máxima (Alonso *et al.*, 2001). Se aplica la misma fórmula para el período desde la mínima hacia la máxima y para el período que va desde la máxima hacia la mínima, siendo la temperatura máxima la misma en ambos casos, mientras que son diferentes las temperaturas mínimas consideradas. Las horas de frío (HFe) de un día se estiman:

$$\text{hf (1)} = 12 \times (7 - \text{tmin1}) / (\text{tmax} - \text{tmin1})$$

$$\text{hf (2)} = 12 \times (7 - \text{tmin2}) / (\text{tmax} - \text{tmin2})$$

$$\text{HFe} = \text{hf(1)} + \text{hf(2)}$$

tmin (1) y tmin (2): Son las temperaturas mínima anterior y posterior a la máxima

Para estudiar la relación funcional entre las HFe por los distintos métodos y las HFr de las localidades analizadas se realizó un análisis de regresión lineal simple (Di Rienzo *et al.*, 2011), determinándose la capacidad predictiva de los modelos a través del coeficiente de determinación R². La elección del método de estimación se basó en la comparación e interpretación de los estadísticos estimados y el error estándar del modelo (EE).

4.3.4. ESTUDIOS DESCRIPTIVOS DE LA DISPONIBILIDAD DE FRÍO

Se calcularon las fechas medias, más tempranas, más tardías y su correspondiente amplitud en las que se alcanzaron entre las 400 y 1.500 HF, 100

y 1.000 HF y entre las 100 y 900 HF con incrementos cada 100 HF, para los departamentos Pomán, Capayán y Paclín, respectivamente. Mientras que para el departamento Valle Viejo el intervalo de evaluación fue de 50 a 550 HF con incremento de 50 HF.

4.3.5. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE ALCANZAR UN DETERMINADO VALOR DE HORAS DE FRÍO

La probabilidad que posee cada zona de estudio de alcanzar un determinado valor de HF fue calculada utilizando el modelo de regresión no lineal logístico (Tersoglio y Naranjo, 2007a y 2007b). Mediante la asignación de valores “0” o “1” a cada intervalo de 100 HF, dentro del rango de estudio 0 a 1.500 HF para “Rosario de Colana” y “Amadores” y de 0 a 1.000 HF para “Las Tejas” y “Colonia del Valle”; para lo cual se transformó la variable continua HF en dicotómica. Por lo tanto, para cada año de estudio y para cada incremento de HF correspondió el valor 0 o 1 según si las HF del intervalo fue o no alcanzada, respectivamente (Tersoglio y Naranjo, 2007a y 2007b). En consecuencia, la variable dicotómica depende de la exigencia preestablecida en la variable cuantitativa y permite así obtener una respuesta binomial en cada rango de HF.

El análisis logístico considera la variable dependiente como una proporción de casos en los cuales es cumplida la condición binomial requerida. Se trata de una función estrictamente decreciente, ya que a medida que se incrementa el valor del intervalo de HF que debe ser alcanzado se reduce la probabilidad de su cumplimiento (Díaz y Demetrio, 1998). Ello satisface la definición de distribución acumulada logística (Díaz y Demetrio, 1998; Di Rienzo *et al.*, 2011). El modelo de regresión logística se basa en el método de la máxima verosimilitud, a través del cual es posible seleccionar el modelo con mayor probabilidad de ocurrir. El análisis de la desviación del modelo logístico estimado describe la calidad del algoritmo establecido (Díaz y Demetrio, 1998). Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2011) y Minitab versión 2020 (Alín, 2010).

4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1. DISPONIBILIDAD DE HORAS DE FRÍO Y UNIDADES DE FRÍO UTAH MODIFICADA POR REGIÓN

4.4.1.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca

4.4.1.1.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa)

La localidad “Rosario de Colana”, Dpto. Pomán mostró un valor medio de 1.317 HFra. Sin embargo, el CV y su DE fueron 11 % y 141 respectivamente, indicando que oscilaron entre 1.176 y 1.458 HF en el 90 % de los ciclos invernales estudiados.

La tasa media de acumulación diaria de frío fue de 10,8 HFra.D⁻¹. Los correspondientes CV y DE indican que las tasas de incremento varían con los años (Tabla 4.3). Por otra parte, los valores mínimos y máximos de HFra se registraron en 2020 y 2018, respectivamente.

Tabla 4.3. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Rosario de Colana			
	UFUMa acumuladas	Tasa media diaria (UFUMa.D ⁻¹)	HFra acumuladas	Tasa media diaria (HFra.D ⁻¹)
2011	897	7,4	1.430	11,7
2012	1.140	9,3	1.244	10,2
2013	959	7,9	1.220	10,0
2014	1.035	8,5	1.259	10,3
2015	1.153	9,5	1.323	10,8
2016	1.228	10,1	1.393	11,4
2017	1.233	10,1	1.508	12,4
2018	1.072	8,8	1.572	12,9
2019	1.020	8,4	1.189	9,7
2020	966	7,9	1.144	9,4
2021	903	7,4	1.201	9,8
Media	1.055	8,6	1.317	10,8
DE	121	1,0	141	1,2
CV (%)	11	11	11	11

Por otro lado, la oferta de frío evaluada con el modelo de unidades de frío Utah modificado mostró una media de 1.055 UFUMa y un CV semejante, pero con una DE ligeramente menor que el del modelo de horas de frío. La tasa media de acumulación diaria fue de 8,6 UFUMa.D⁻¹ (Tabla 4.3).

4.4.1.1.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)

En la tabla 4.4 se presentan las horas de frío reales mensuales con sus respectivos estadísticos descriptivos. El mes de julio fue el que presentó el valor medio de HFrm más alto, aportando el 31,7 % del total de las HFrm acumulada en el año, siendo su coeficiente de variación (12 %) el más bajo de todos. Luego le siguieron junio y agosto, contribuyendo con el 28,9 % y 21,6 %, respectivamente. Por último, el mes de mayo fue el que registro el menor valor de HFrm, aportando 17,8 % del total anual. El menor valor de HFrm de la serie fue registrado en el mes de mayo del año 2013 y el mayor en julio del 2018.

Tabla 4.4. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	298	395	416	321
2012	206	326	391	321
2013	177	280	401	362
2014	250	390	403	216
2015	248	413	435	227
2016	231	435	456	271
2017	247	461	492	308
2018	238	480	512	342
2019	217	333	349	290
2020	231	280	378	255
2021	225	391	359	226
Media	233	380	417	285
D.E	30	68	52	50
CV (%)	13	18	12	18
Valor máximo	298	480	512	362
Valor mínimo	177	280	349	216

El mes de junio fue el que presentó el valor medio de UFUMm más alto, aportando el 28,4 % del total de las UFUMm acumulada en el año (Tabla 4.5). Además, el mes de junio fue el que mostró el menor valor de CV. Mientras que le siguieron los meses de julio y mayo, con un aporte del 27,6 % y 25,7 %, respectivamente. En cuanto al aporte de UFUMm del mes de agosto fue 18,3 %,

siendo su coeficiente de variación el más elevado. El menor valor de UFUMm fue registrado en el mes de agosto del año 2021 y el mayor en junio del 2016.

Tabla 4.5. Unidades de frío Utah modificado mensual (UFUMm), de Rosario de Colana, departamento Pomán, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	284	273	200	141
2012	241	339	300	260
2013	182	281	278	219
2014	273	289	274	199
2015	303	335	317	198
2016	317	356	337	219
2017	328	340	338	228
2018	322	261	298	191
2019	253	261	307	200
2020	186	308	296	177
2021	291	258	256	98
Media	271	300	291	193
D.E	51	37	39	44
CV (%)	19	12	13	23
Valor máximo	328	356	338	260
Valor mínimo	182	258	200	98

4.4.1.2. Amadores, Paclín, Catamarca

4.4.1.2.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa)

La acumulación media de frío en “Amadores”, Dpto. Paclín fue de 793 HFra oscilando entre 680 y 906 HFra. La tasa media diaria de acumulación fue de 6,5 HFra.D⁻¹ (Tabla 4.6). Mientras que las unidades de frío Utah modificada mostraron un valor medio de 725 UFUMa, un CV y DE ligeramente superior que al del modelo de horas de frío. La tasa media de acumulación diaria fue de 5,9 UFUMa.D⁻¹ (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Amadores			
	UFUMa acumuladas	Tasa media diaria (UFUMa. D ⁻¹)	HFra acumuladas	Tasa media diaria (HFra. D ⁻¹)
2011	631	5,2	771	6,3
2012	677	5,5	718	5,9
2013	585	4,8	854	7,0
2014	755	6,2	631	5,2
2015	832	6,8	653	5,4
2016	872	7,1	729	6,0
2017	868	7,1	850	7,0
2018	804	6,6	990	8,1
2019	706	5,8	732	6,0
2020	677	5,5	889	7,3
2021	564	4,6	902	7,4
Media	725	5,9	793	6,5
DE	110	0,9	113	0,9
CV	15	15	14	14

4.4.1.2.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)

Se observó que julio, con un 37,2 %, fue el mes que más aportó a la acumulación anual media de HFrm. Luego le preceden junio y agosto con un aporte de 31 % y 21,5 %, respectivamente. Mientras que mayo solo aportó el 10,3 %. El coeficiente de variación del mes de julio fue considerablemente menor en relación a los otros meses. El menor valor de HFrm fue registrado en el mes de mayo del año 2016 y el mayor en julio del 2018 (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	74	229	263	205
2012	76	235	255	152
2013	110	209	288	247
2014	84	176	289	82
2015	52	208	295	98
2016	28	247	324	130
2017	41	303	338	168
2018	52	353	377	208
2019	98	244	212	178
2020	165	208	317	199
2021	126	281	282	213
Media	82	245	295	171
D.E	40	50	44	51
CV (%)	49	21	15	30
Valor máximo	165	353	377	247
Valor mínimo	28	176	212	82

Por otra parte, el mes de junio fue el que presentó el valor medio de UFUMm más alto, aportando el 35 % del total de las UFUMm acumulada en el año (Tabla 4.8). Le siguieron julio y agosto con un aporte de 34 % y 17 %, respectivamente. Por otro lado, el mes de mayo fue el de menor aporte (14 %). El mes de junio presentó el menor CV en comparación a los otros meses. El menor valor de UFUMm fue registrado en el mes de mayo del año 2013 y el mayor en julio del 2017.

Tabla 4.8. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Amadores, departamento Paclín, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	78	258	190	106
2012	79	262	173	164
2013	28	172	212	174
2014	146	255	237	118
2015	128	302	298	104
2016	115	329	341	88
2017	102	295	354	119
2018	78	245	347	135
2019	119	204	247	136
2020	120	217	222	119
2021	127	249	127	62
Media	102	253	250	120
D.E	33	45	76	32
CV (%)	33	18	30	27
Valor máximo	146	329	354	174
Valor mínimo	28	171	127	62

4.4.1.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca

4.4.1.3.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa)

Las Tejas presentó una acumulación de frío media de 382 HFra, oscilando entre 279 y 485 HFra. La tasa media diaria de acumulación fue 3,1 HFra.D⁻¹. Por otra parte, la oferta de frío observada con el modelo de unidades de frío Utah modificado presentó una media de 360 UFUMa, un CV y DE más alto que el observado con el modelo de horas de frío (Tabla 4.9). La tasa media de acumulación diaria fue ligeramente inferior en comparación al modelo de HF.

Tabla 4.9. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Período 2011-2021).

Año	Las Tejas			
	UFUMa acumuladas	Tasa media diaria (UFUMa.D ⁻¹)	HFra acumuladas	Tasa media diaria (HFra.D ⁻¹)
2011	426	3,5	455	3,7
2012	402	3,3	424	3,5
2013	423	3,5	415	3,4
2014	248	2,0	284	2,3
2015	242	2,0	201	1,6
2016	555	4,5	322	2,6
2017	287	2,4	290	2,4
2018	505	4,1	566	4,6
2019	312	2,6	365	3,0
2020	272	2,2	404	3,3
2021	290	2,4	476	3,9
Media	360	3,0	382	3,1
DE	108	0,9	103	0,8
CV	30	30	27	27

4.4.1.3.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)

Se observó que el mes de julio fue el que presentó la mayor acumulación de HFrm, aportando el 41 %, luego le siguió junio y agosto con 37 % y 15,4 %, respectivamente. Mientras que para el mes de mayo fue de 6,6 %, siendo el CV el más alto en comparación a los otros meses evaluados. El menor valor de HFrm fue registrado en el mes de mayo del año 2015 y el mayor en junio del 2018 (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Período 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	14	151	174	116
2012	2	164	210	48
2013	46	79	195	95
2014	29	108	117	30
2015	1	73	99	28
2016	11	184	110	17
2017	20	140	112	18
2018	20	237	233	76
2019	58	114	118	75
2020	36	108	183	77
2021	44	194	174	64
Media	26	141	157	59
D.E	19	51	47	33
CV (%)	73	36	30	56
Valor máximo	58	237	233	116
Valor mínimo	1	73	99	17

Por otra parte, en esta localidad tanto el mes de junio como el de julio presentaron una acumulación semejante, con 40,5 % y 39,4 % de las UFUMa, respectivamente. Luego le siguió agosto con 12 %, y finalmente el mes de mayo con el 8 %, con la menor contribución (Tabla 4.11). El CV más bajo se registró para el mes de julio, mientras que el CV para el mes de mayo fue considerablemente alto en comparación al de los otros meses. El menor valor de UFUMm fue registrado en el mes de mayo del año 2015 y el mayor en junio del 2016.

Tabla 4.11. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Las Tejas, departamento Valle Viejo, provincia de Catamarca (Periodo 2011-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2011	12	168	167	81
2012	2	137	207	57
2013	20	119	184	101
2014	48	81	107	13
2015	0	59	110	73
2016	62	314	164	16
2017	30	130	105	22
2018	19	210	246	30
2019	72	115	96	31
2020	32	102	116	23
2021	30	169	67	25
Media	30	146	142	43
D.E	23	70	55	30
CV (%)	78	48	38	70
Valor máximo	72	314	246	101
Valor mínimo	0	59	66,5	13

4.4.1.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca

4.4.1.4.1. Horas de frío reales anuales (HFra) y unidades de frío Utah modificada anuales (UFUMa)

Por último, la localidad de “Colonia del Valle” presentó un valor medio de 757 HFra, mientras que la DE fue de 206, indicando que los valores oscilaron entre 551 y 963 HFra en el 90 % de los ciclos invernales estudiados (Tabla 4.12). El CV (27 %) fue uno de los más altos de las zonas evaluadas. La tasa media de acumulación diaria de frío fue de 6,2 HFra.D⁻¹ (Tabla 4.12).

Por otro lado, la oferta de frío calculada como unidades de frío Utah modificada presentó una media de 209 UFUMa y un CV (33 %) mayor que la del modelo de horas de frío. La tasa media de acumulación diaria fue de 1,7 UFUMa.D⁻¹ (Tabla

4.12). Esta localidad fue la única en la que los modelos utilizados difirieron notoriamente (260 %).

Tabla 4.12. Disponibilidad de frío invernal, tasas medias diarias de acumulación de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).

Año	Colonia del Valle			
	UFUMa acumuladas	Tasa media diaria (UFUMa.D ⁻¹)	HFra acumuladas	Tasa media diaria (HFra.D ⁻¹)
2016	184,5	1,5	588	4,8
2017	124	1,0	498	4,1
2018	320	2,6	828	6,8
2019	246,5	2,0	718	5,9
2020	215	1,8	832	6,8
2021	162	1,3	1080	8,9
Media	209	1,7	757	6,2
DE	69	0,6	206	1,7
CV	33	33	27	27

4.4.1.4.2. Horas de frío reales mensuales (HFrm) y unidades de frío Utah modificada mensuales (UFUMm)

El mes de julio presentó la mayor acumulación de HFrm, siendo su aporte a la acumulación de HFra anual de 34 %, luego le siguió junio y agosto con un 31,8 % y 22,4 %, respectivamente, y finalmente el mes de mayo con un 11,8 % siendo el de menor contribución (Tabla 4.13). El coeficiente de variación del mes de mayo fue el más alto, mientras que agosto presentó el menor valor (21 %). El menor valor de HFrm fue registrado en el mes de mayo del año 2017 y el mayor en julio del 2021 (Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Horas de frío reales mensuales (HFrm), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2016	58	207	196	127
2017	49	158	164	127
2018	70	306	265	187
2019	86	224	241	167
2020	127	212	298	195
2021	144	340	382	214
Media	89	241	258	170
D.E	38	68	77	36
CV (%)	43	28	30	21
Valor máximo	144	340	382	214
Valor mínimo	49	158	164	127

Por otro lado, junio con un 44,9 % fue el mes que más aportó a la acumulación anual media de UFUMm. Luego le preceden julio y mayo con un 31,7 % y 16,0 %, respectivamente. Mientras que agosto sólo aportó el 7,4 % siendo el de menor contribución (Tabla 4.14). El CV del mes de julio fue considerablemente más alto que el resto de los meses analizados. El menor valor de UFUMm fue registrado en el mes de agosto del año 2016 y el mayor en julio del 2018 (Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Unidades de frío Utah modificado mensuales (UFUMm), de Colonia del Valle, departamento Capayán, provincia de Catamarca (Periodo 2016-2021).

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto
2016	42	83	52	8
2017	26	51	40	8
2018	23	122	154	22
2019	47	95	81	24
2020	35	105	59	17
2021	28	108	13	14
Media	33	94	66	15
D.E	10	25	49	7
CV (%)	29	26	73	44
Valor máximo	47	122	154	24
Valor mínimo	23	50,5	12,5	8

Analizando los valores medios de la disponibilidad de frío, acumulado entre mayo y agosto, se observó que las regiones estudiadas presentaron diferentes condiciones climáticas. La ubicación geográfica de cada área estudiada influyó considerablemente en las temperaturas y la acumulación de frío que se registraron.

“Rosario de Colana” fue el área que registró la mayor acumulación de frío, seguido de “Amadores”, “Colonia del Valle” y “Las Tejas” (Tabla 4.15). Estos resultados concuerdan con los encontrados para diferentes zonas agroecológicas de la provincia de Catamarca, obtenidos previamente por Carabajal (2015a).

Tabla 4.15. Disponibilidad de unidades de frío Utah modificado anual (UFUMa) y horas de frío real anual (HFra), de Rosario de Colana, Amadores, Las Tejas y Colonia del Valle.

Localidad	HFra			UFUMa		
	Media	DE	CV (%)	Media	DE	CV (%)
Rosario de Colana	1.317	141	11	1.055	121	11
Amadores	793	113	14	725	110	15
Las Tejas	382	103	27	360	108	30
Colonia del Valle	757	206	27	209	69	33

Por otro lado, en un trabajo realizado para los departamentos de “Tupungato” (1.100 m.s.n.m) y “Lujan de Cuyo” (950 m.s.n.m) de la provincia de Mendoza, se observó que la tasa media de acumulación de UFUM fue mayor en el departamento de mayor altitud (Tersoglio y Naranjo, 2007a). Estas observaciones se corresponden con lo encontrado en este trabajo, donde para la localidad de “Rosario de Colana” (1.676 m.s.n.m) la mayor disponibilidad de UFUM y HF se debió a que la tasa media de acumulación fue más alta que las registradas en el resto de las localidades evaluadas.

La altitud es el factor que más influye en la temperatura, seguida por la latitud y la longitud (Fritzsos *et al.*, 2008). Morais y Carbonieri (2015) también observaron las mismas diferencias, donde las temperaturas más bajas en la región de mayor altitud representaron la mayor cantidad de unidades de enfriamiento, mientras que las temperaturas más altas se dieron en los lugares de menor altitud, proporcionando menos unidades de enfriamiento. Así también, Tersoglio y Naranjo (2007b) mostraron que las zonas altas del oasis norte y del centro de la provincia de Mendoza, situadas a 950 y 1.100 m.s.n.m para los departamentos de “Luján de Cuyo” y “Tupungato” de Mendoza, respectivamente, poseen valores medios de UFUM entre 1.106 y 1.445. Mientras que los valores hallados en los departamentos Junín y San Martín situados a menor altura son sensiblemente más bajos.

Hubo una gran variabilidad en las HF y las UFUM entre sitios y años, con mayor variabilidad en los sitios de menor altitud. Sin embargo, para la región sur de Brasil la variabilidad en las HF fue mayor en los sitios de mayor altitud (Yoshikawa *et al.*, 2018). El CV para las distintas localidades fue mayor en

aquellas con inviernos más suave (menor altitud), como lo es “Colonia del Valle” y “Las Tejas”, mientras que en las localidades con inviernos fríos (mayor altitud) se observó una menor variabilidad en la acumulación de horas de frío. Esta situación también fue observada para las localidades de “Rafaela”, “Sauce Viejo” y “Esperanza” de la provincia de Santa Fe, Argentina (García, 2012).

Las medidas de variabilidad (CV, DE) de las UFUMa, HFra y de las tasas medias anuales de “Rosario de Colana” y de “Amadores” indican que son más estables a través de los años que las correspondientes a las otras dos localidades. Por otra parte, en los sitios de mayor altitud el CV entre años fue semejante al comparar los modelos de HF y UFUM. Para estos sitios más fríos el modelo de UFUM puede ser empleado de manera satisfactoria. Mientras que para los sitios de menor altitud como “Las Tejas” y “Colonia del Valle” el CV entre años fue diferente al comparar los modelos de HF y UFUM. Tanto en “Las Tejas” como en “Colonia del Valle”, al comparar la variabilidad de la acumulación de frío, esta fue mayor en el modelo de UFUM que el de horas de frío reales ($< 7\text{ }^{\circ}\text{C}$). La acumulación de frío puede variar de un año a otro, debido a las diferentes temperaturas registradas a lo largo de los años estudiados (Ruiz *et al.*, 2007).

El criterio de precisión de los modelos es la invariabilidad de las cantidades de frío calculadas durante el periodo otoño-inverno (Balandier *et al.*, 1993b). De acuerdo a esto se tendría que elegir el modelo de menor variabilidad (CV), pero en la localidad de “Colonia del Valle” se observó una importante diferencia en los valores medios de la acumulación de frío obtenidos por el modelo de HF y UFUM, por lo tanto, para esta localidad este criterio no sería correcto. En este caso habría que considerar los antecedentes de comportamiento de las plantas para decidir qué modelo utilizar.

En el departamento Capayán donde se encuentra la localidad de “Colonia del Valle”, se pueden identificar distintas áreas: a) el área montañosa, ubicada en la Sierra de Ambato, con altitudes entre los 4.000 y 900 m.s.n.m., en dirección al naciente; b) el área pedemontana, situada entre los 900 y 450 m.s.n.m., en dirección al naciente; c) las áreas deprimidas del extremo sur, con altitudes medias entre los 300 y 220 m.s.n.m. y d) el área de llanos intermontanos o fondo

de valle, ubicada entre los 375 y 300 m.s.n.m. (Cruz *et al.*, 2016) (anexo VII). Estas diferentes áreas generan una variada condición climática, posibilitando el desarrollo de una fruticultura diversa.

La localidad de “Colonia del Valle” se encuentra en el área pedemontana y llanos intermontanos. En estas áreas los principales frutales que se cultivan son el olivo y los cítricos (mandarinos y naranjos). Si nos guiamos del valor medio de acumulación de HF, el nogal europeo tendría que ser un cultivo factible en esta localidad. No obstante, en este sitio no hay antecedentes del cultivo del nogal europeo, pero si en otras localidades que se encuentran en el área de montaña. Por lo tanto, el modelo de HF no sería el más adecuado para esta localidad, pero si el modelo de UFUM ya que refleja mejor la realidad de este sitio.

Por otra parte, las discrepancias en los valores medios de las HFa y UFUMa podría explicarse porque las diferencias entre las temperaturas horarias registradas por un método y otro, se encuentran mayoritariamente en los valores extremos, intervalos en los que el modelo de HF no presenta límites de acumulación. De esta manera, las HF pueden calcularse cubriendo una amplia gama de temperaturas durante el período invernal (Cardoso *et al.*, 2015). Sin embargo, para el modelo de UFUM se plantea una acumulación negativa de frío en determinados rangos de temperatura, o no acumulación, presentando diferencias importantes respecto al modelo de HF (Botelho *et al.*, 2006). Petri *et al.* (2021), informaron que es frecuente la interrupción del invierno por altas temperaturas que resultan en un efecto negativo en el acumulado de frío, lo que permite afirmar que el método UFUM es más sensible para cuantificar el frío disponible para regiones con grandes fluctuaciones de temperatura en el otoño y el invierno, mientras que para regiones con menor amplitud térmica el modelo HF es más adecuado (Yoshikawa *et al.*, 2018). La amplitud térmica y las temperaturas diurnas en “Colonia del Valle” (Fig. 4.1a) durante el periodo de acumulación de frío son mayores que en “Las Tejas” (Fig. 4.1b), lo que provoca la ocurrencia de valores negativos de unidades de frío en el modelo UFUM, lo cual puede estar asociado al microclima generado por la zona pedemontana de la sierra de Ambato.

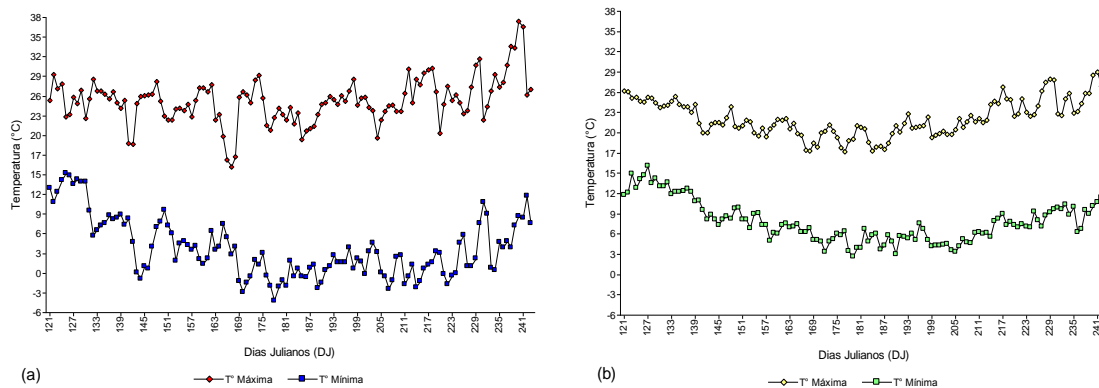


Figura 4.1. Temperaturas máximas y mínimas medias diarias registradas en el periodo 2016-2021 y 2011-2021 para Colonia del Valle (a) y Las Tejas (b), respectivamente.

Aunque la localidad de “Amadores” se encuentra a una altitud mayor que “Colonia del Valle”, las acumulaciones de frío fueron muy semejantes. Por otro parte, al comparar las acumulaciones de frío de “Colonia del Valle” y “Las Tejas” se observó que es menor en esta última, a pesar de que la altitud es ligeramente mayor en “Las Tejas”. El huerto de la localidad de “Colonia del Valle” donde se registraron las temperaturas horarias está ubicado próximo a la zona pedemontana de la sierra de Ambato. De acuerdo a las observaciones del técnico responsable de la finca, las masas de aire frío provenientes de las zonas más altas convergen hacia la finca, generando una acumulación de frío mayor. Esto podría explicar las diferencias encontradas entre las localidades de “Las Tejas” y “Colonia del Valle”. También explicaría las semejanzas entre “Amadores” y esta última. Esta mayor acumulación de frío en la finca de “Colonia del Valle” sería una situación particular de este sitio.

La acumulación de frío a lo largo del año, se concentra en los meses de mayo, junio, julio, y agosto. Por otro lado, otros autores mencionan que el mes de septiembre no debería incluirse para cuantificar la acumulación de frío (HF, UFUM) dado que dicho mes presenta temperaturas favorables para el despertar de los cultivares actualmente utilizados (Damario *et al.*, 2008; García, 2012). Sin embargo, para determinados cultivos, como los manzanos implantados en la región centro de Santa Fe, la contribución de septiembre puede ser importante (García, 2012).

Los meses más eficientes para la acumulación de frío fueron junio, julio y agosto, aunque mayo también contribuyó considerablemente en algunos casos. La acumulación de HF_{rm} para las distintas localidades varió entre los meses, siendo mayo el mes con la mayor variación, a excepción de “Rosario de Colana”, sitio en el que fue el mes de junio. Fenili *et al.* (2016) menciona que para las cinco regiones del sur de Brasil evaluadas también fue el mes de mayo el que presentó la mayor variación entre años en cada sitio.

La oferta de frío en el periodo invernal en las regiones de producción de montaña, como lo es Catamarca, está asociada a la altura, pero también se deben realizar las evaluaciones in situ ya que en cortas distancias puede haber diferencias significativas debido a los microambientes típicos de las zonas de montaña (Cólica, 2015).

Esta situación también fue reportada previamente en otras áreas con inviernos suaves; por lo que el modelo de Utah modificado no es aconsejable dado que se desarrolló en una zona más fría (Botelho *et al.*, 2006; Erez, 2000).

Por otro lado, en las localidades de mayor altitud la variabilidad entre años fue semejante al comparar los modelos de HF y UFUM. Esta similitud se debe a que el huerto de “Amadores” está situado en una región interior fresca donde el modelo de UFUM puede ser útil. De manera similar, en “Rosario de Colana”, ubicada a 1.676 m.s.n.m, el modelo de UFUM puede ser empleado satisfactoriamente. Para estas áreas más frías el modelo de UFUM se adapta para la cuantificación del frío.

Los resultados obtenidos indican que la disponibilidad de frío de los sitios evaluados permite, en general, la producción del nogal y el pecan en esta región. Sin embargo, la aptitud para ambos cultivos varía sensiblemente según el cultivar considerado. “Rosario de Colana” y “Amadores”, permitiría la implantación de cultivares con altas a media exigencia en frío. Por otro lado, las localidades de “Las Tejas” y “Colonia del Valle” permitirían el desarrollo de cultivares con bajas exigencias en frío.

4.4.2. HORAS DE FRÍO ESTIMADAS (HFE)

4.4.2.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca

Las horas de frío estimadas (HFe) para la localidad de “Rosario de Colana”, variaron considerablemente dependiendo del modelo utilizado (Tabla 4.16).

Tabla 4.16. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Rosario de Colana (periodo 2011-2021).

	Media	DE	CV (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
HFr	1.317	141	11	1.144	1.572
HFe (Sharpe)	1.151	76	7	1.006	1.248
HFe (Da Mota)	730	65	9	604	814
HFe (Weimberger)	946	151	16	680	1.200
HFe (Crossa y Raynaud)	963	151	16	808	1.348
HFe (Sánchez Capuchino)	1.445	226	16	1.212	2.022
HFe (Anderson y Seeley)	944	146	15	1.320	797

Comparando los modelos de estimación de HFe con las HFr se observó que los modelos de Sharpe; Crossa y Raynaud; Anderson y Seeley; Weimberger; y Da Mota subestimaron las HFr en un 13, 27, 28, 28 y 45 %, respectivamente. Por otro lado, el modelo de Sánchez Capuchino sobreestimó las HFr en un 10 %.

Realizado el análisis de regresión lineal, los modelos que presentaron un mejor ajuste fueron Crossa y Raynaud, Sánchez Capuchino, y Anderson y Seeley (Fig. 4.2).

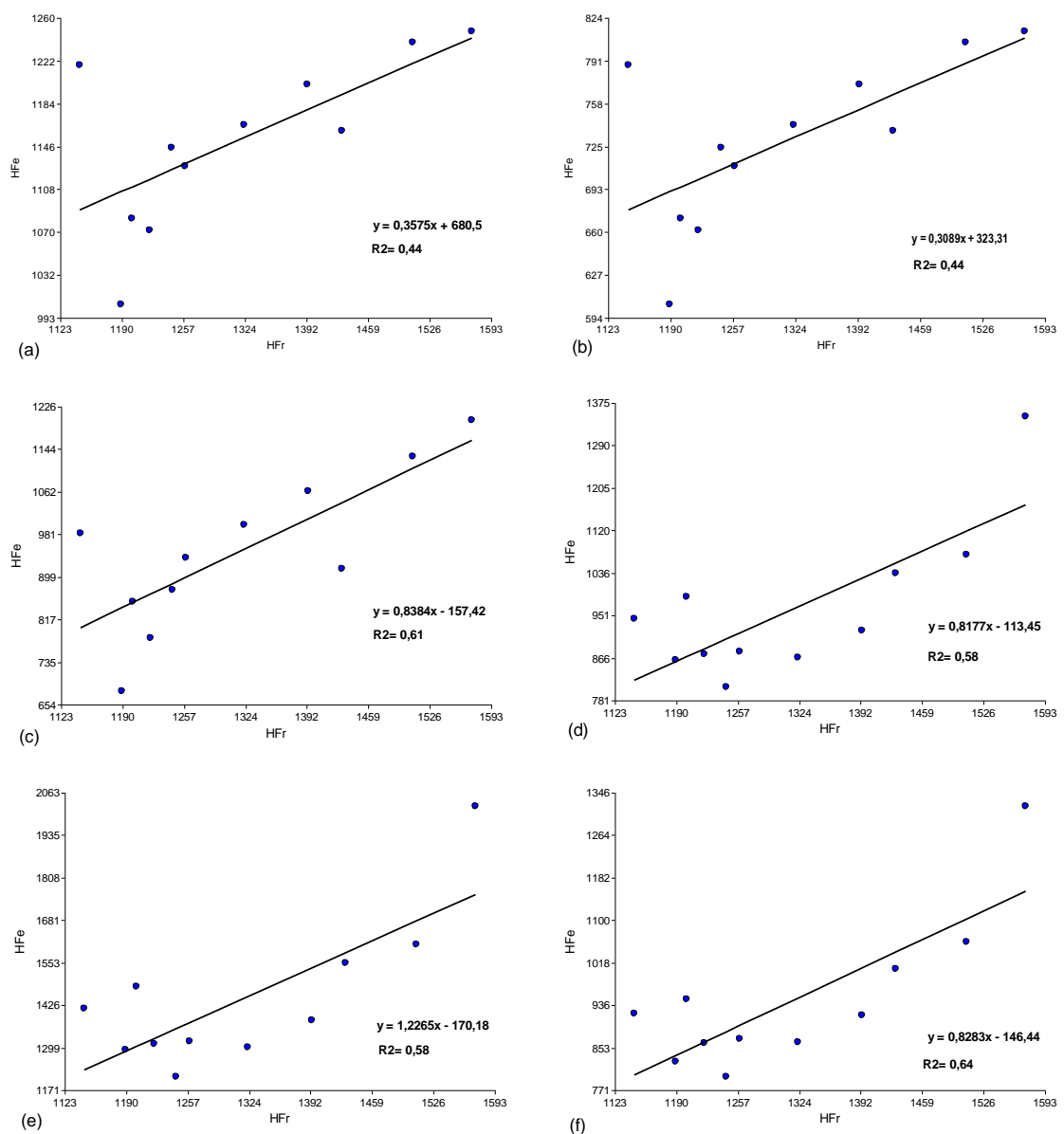


Figura 4.2. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Rosario de Colana, Dpto. Pomán, Catamarca.

El coeficiente de determinación (R^2) de Anderson y Seeley fue de 0,64, y 0,58 para los otros dos modelos.

De los tres modelos, el que menor EE arrojó fue Anderson y Seeley (EE= 93). El valor medio de HFe estimadas por dicho modelo representó el 72 % de las HFr, mientras que las HFe por Crossa y Raynaud (EE= 103) representó el 73 % de las HFr. Sánchez Capuchino (EE= 154), superó al valor medio real en un 10 %.

Dentro de los modelos que utilizan las temperaturas medias mensuales para estimar las HFe, el que presentó menor EE fue Da Mota (EE= 51), pero su coeficiente de determinación, al igual que Weimberger (EE= 100) y Sharpe (EE= 59), resultó ser inferior a 0,65.

4.4.2.2. Amadores, Paclín, Catamarca

Para la localidad de “Amadores” la estimación de las HFe por los modelos de Weimberger, Crossa y Raynaud, Da Mota, y Anderson y Seeley subestimaron las HFr en un 8, 28, 29 y 30 %, respectivamente. Por otro lado, los modelos de Sánchez Capuchino, y Sharpe sobreestimaron las HFr en un 9 y 21 %, respectivamente (Tabla 4.17).

Tabla 4.17. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Amadores (periodo 2011-2021).

	Media	DE	CV (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
HFr	793	113	14	631	990
HFE (Sharpe)	962	15	2	957	1.009
HFE (Da Mota)	567	13	2	563	607
HFE (Weimberger)	731	20	3	725	791
HFe (Crossa y Raynaud)	573	89	16	426	704
HFe (Sánchez Capuchino)	860	134	16	639	1.056
HFe (Anderson y Seeley)	554	90	16	692	408

Los modelos que mejor ajuste presentaron fueron los mismos que para la localidad de “Rosario de Colana” (Crossa y Raynaud, Sánchez Capuchino, y Anderson y Seeley) (Fig. 4.3). Los coeficientes de determinación (R^2) fueron de 0,53, 0,52, 0,48 para Sánchez Capuchino, Crossa y Raynaud, y Anderson y Seeley, respectivamente.

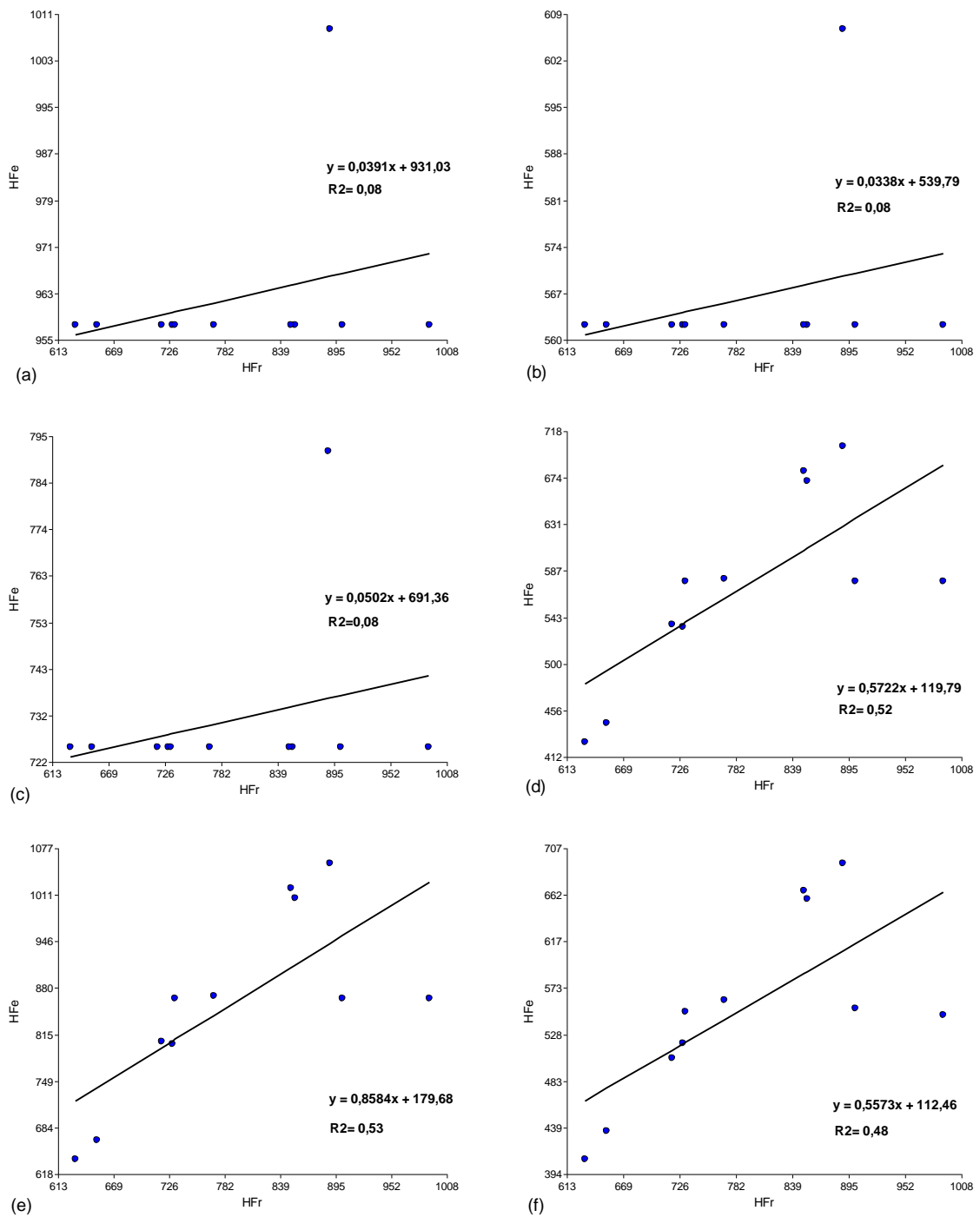


Figura 4.3. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Amadores, Dpto. Paclín, Catamarca.

De los tres modelos, el que menor EE arrojó fue Crossa y Raynaud (EE= 65). El modelo de estimación de Anderson y Seeley presentó un EE de 68, y el de Sánchez Capuchino fue superior (EE= 97).

El valor medio de HF estimadas por el modelo de Crossa y Raynaud representó el 72 % de las HFr, mientras que las HFe por Anderson y Seeley representó el 70 % de las HFr. Por otro lado, Sánchez Capuchino superó al valor medio real en un 9 %. Dentro de los modelos que utilizan las temperaturas medias mensuales para estimar las HFe, el que presentó menor EE fue Da Mota (EE= 14) y Sharpe (EE= 16) seguido por Weimberger (EE= 20). Estos tres modelos presentaron un R² bajo de 0,08.

4.4.2.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca

Comparando las HFe con las HFr se observó que los modelos de Sánchez Capuchino, Weimberger, y Sharpe sobreestimaron las HFr en un 11, 20 y 50 %, respectivamente. Mientras que los modelos de Crossa y Raynaud, Anderson y Seeley, y Da Mota subestimaron las HFr en un 26, 35 y 40 %, respectivamente (Tabla 4.18).

Tabla 4.18. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Las Tejas (periodo 2011-2021).

	Media	DE	CV (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
HFr	382	103	27	201	566
HFe (Sharpe)	573	98	17	421	715
HFe (Da Mota)	231	85	37	99	354
HFe (Weimberger)	459	118	26	325	650
HFe (Crossa y Raynaud)	281	63	22	173	365
HFe (Sánchez Capuchino)	422	94	22	260	548
HFe (Anderson y Seeley)	249	64	26	340	144

Los modelos de estimación que presentaron altos coeficientes de determinación fueron los mismos que para las otras localidades analizadas. Los R² para Sánchez Capuchino, Crossa y Raynaud, y Anderson y Seeley fueron 0,94, 0,94 y 0,91, respectivamente. Estos valores fueron superiores a los hallados para “Rosario de Colana” y “Amadores” (Fig. 4.4).

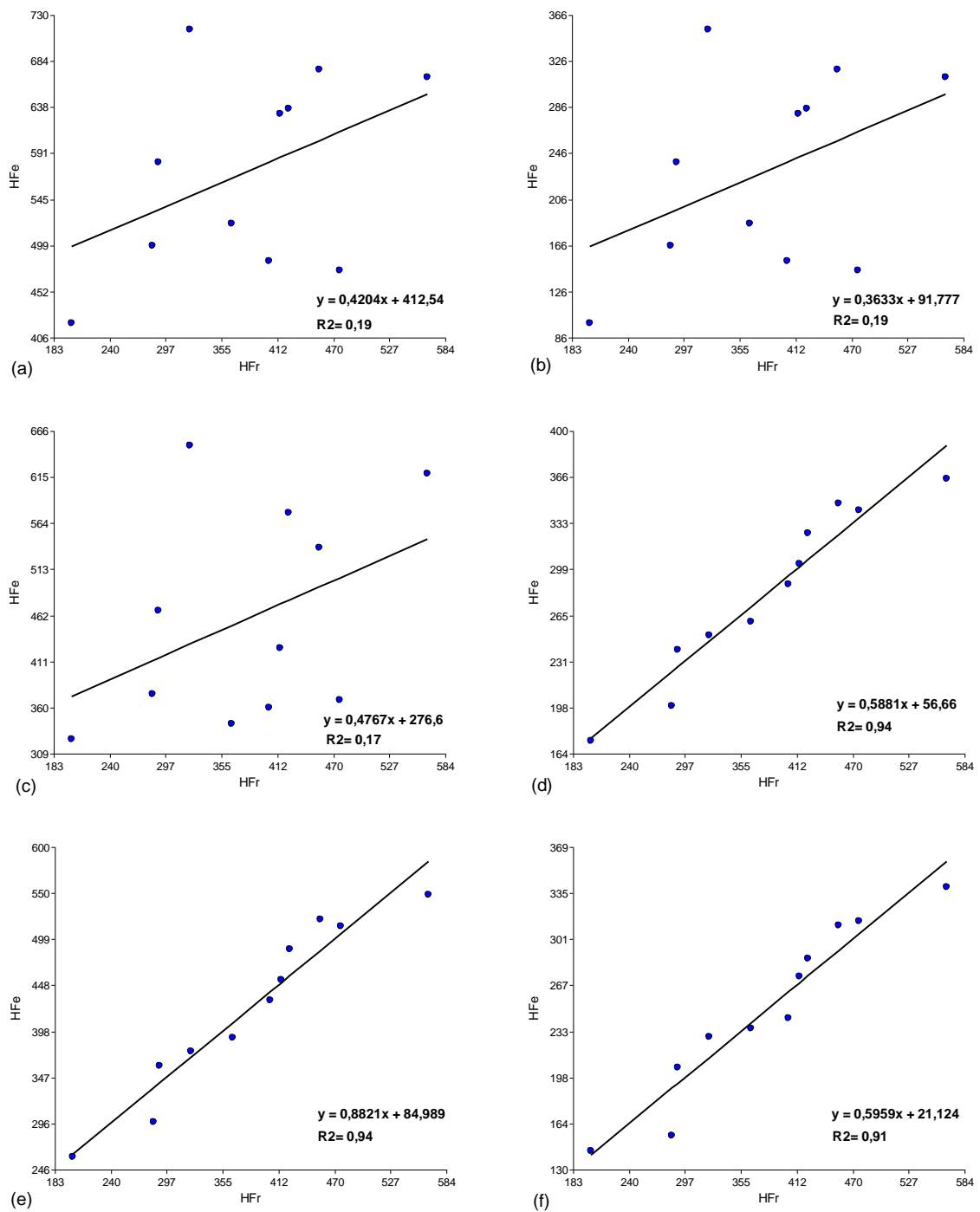


Figura 4.4. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Las Tejas, Dpto. Valle Viejo, Catamarca.

El modelo que mayor EE presentó fue Sánchez Capuchino (EE: 25), mientras que los EE de Crossa y Raynaud, y Anderson y Seeley fueron de 17 y 18, respectivamente.

El valor medio de HF estimadas por el modelo de Crossa y Raynaud representó el 74 % de las HFr, mientras que las HFe por Anderson y Seeley representó el 65 % de las HFr. Por otro parte, Sánchez Capuchino superó al valor medio real en un 11 %.

Dentro de los modelos que utilizan las temperaturas medias mensuales para estimar las HFe, el que presentó menor EE fue Da Mota (EE= 80) y Sharpe (EE= 93) seguido por Weimberger (EE= 113). El coeficiente de determinación (R^2) de Weimberger fue 0,17, y 0,19 para los otros dos modelos.

4.4.2.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca

Para la localidad de “Colonia del Valle” la estimación de las HFe por los modelos de Sharpe, Crossa y Raynaud, Anderson y Seeley, Weimberger, y Da Mota subestimaron las HFr en un 16, 31, 33, 36 y 63 %, respectivamente. Mientras que el modelo de Sánchez Capuchino sobreestimó las HFr en un 4 % (Tabla 4.19).

Tabla 4.19. Estadísticos descriptivos de las horas de frío reales (HFr) y estimadas (HFe) por distintos modelos para la localidad de Colonia del Valle (periodo 2016-2021).

	Media	DE	CV (%)	Valor Mínimo	Valor Máximo
HFR	757	206	27	498	1080
HFe (Sharpe)	633	167	26	457	854
HFe (Da Mota)	282	144	51	130	473
HFe (Weimberger)	482	228	47	186	818
HFe (Crossa y Raynaud)	525	114	22	349	645
HFe (Sánchez Capuchino)	788	171	22	524	968
HFe (Anderson y Seeley)	510	118	23	645	327

Los modelos que presentaron mejor ajuste fueron Crossa y Raynaud, Sánchez Capuchino, y Anderson y Seeley. Los coeficientes de determinación (R^2) fueron de 0,63, 0,62, 0,59 para Sánchez Capuchino, Crossa y Raynaud, y Anderson y Seeley, respectivamente (Fig. 4.5).

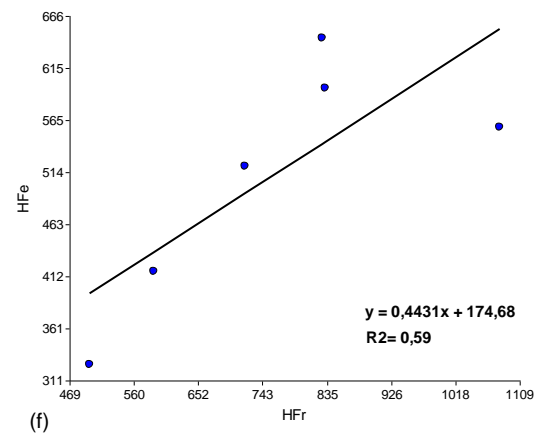
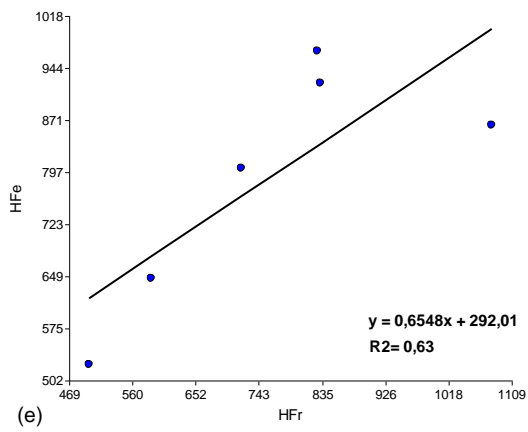
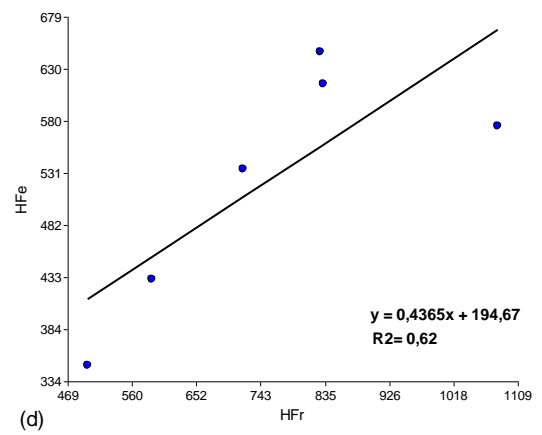
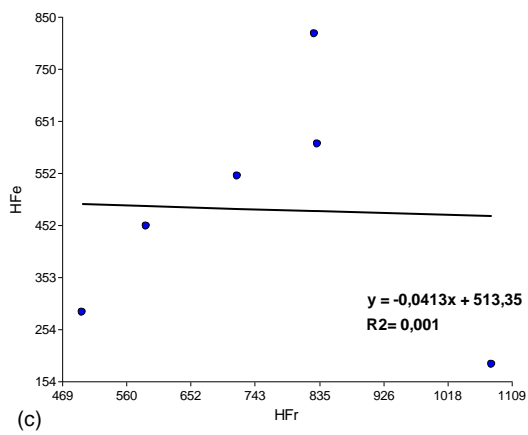
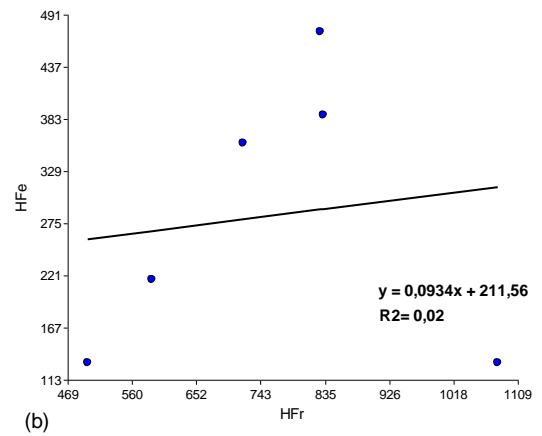
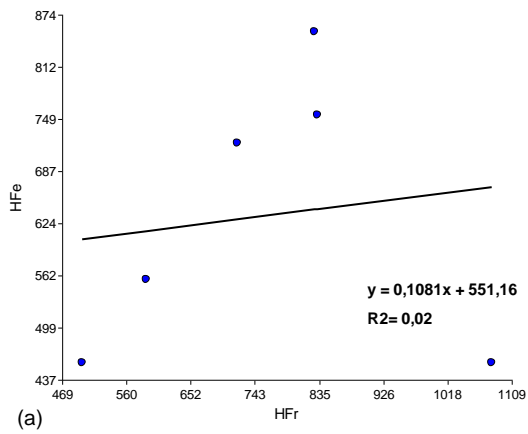


Figura 4.5. Relación entre horas de frío reales (HFr) y horas de frío estimadas (HFe) por Sharpe (a), Da Mota (b), Weimberger (c), Crossa y Raynaud (d), Sánchez-Capuchino (e), y Anderson y Seeley (f) para la localidad de Colonia del Valle, Dpto. Capayán, Catamarca.

De los tres modelos, el que menor EE presentó fue Crossa y Raynaud (EE= 79). El modelo de estimación de Anderson y Seeley presentó un EE de 84 y el de Sánchez Capuchino fue superior (EE= 118). El valor medio de HFe por el modelo de Crossa y Raynaud representó el 69 % de las HFr, mientras que las HFe por Anderson y Seeley representaron el 67 % de las HFr. Por otro lado, Sánchez Capuchino superó al valor medio real en un 4 %.

Dentro de los modelos que utilizan las temperaturas medias mensuales para estimar las HFe, el que presentó menor EE fue Da Mota (EE= 160) y Sharpe (EE= 185), seguido por Weimberger (EE= 255). El coeficiente de determinación (R^2) de Weimberger fue de apenas 0,001, y 0,02 para los otros dos modelos.

El análisis de la acumulación de las HFe en “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle” arrojó grandes diferencias entre los modelos utilizados. El modelo Da Mota subestimó las HFr entre un 28 y 63 % dependiendo del lugar, mientras que el modelo de Sharpe subestimó las HFr en “Rosario de Colana” y “Colonia del Valle” en un 12 y 16 %, respectivamente, y los sobreestimó para “Amadores” y “Las Tejas” en un 21 y 50 %, respectivamente. Finalmente, el modelo de Weimberger subestimó las HF entre un 8 y 45 % dependiendo del sitio. La excepción fue la localidad de “Las Tejas” en donde hubo una sobreestimación de las HFr de un 20 %.

Por lo general los modelos que utilizan las temperaturas medias mensuales subestimaron las HFr, presentando grandes diferencias para los diferentes sitios de estudio. Sin embargo, para la región centro oeste de Santa Fe el modelo de Da Mota presentó un buen ajuste (Gariglio *et al.*, 2006b), no coincidiendo con los resultados presentados en este trabajo. Las metodologías utilizadas por Sharpe, Da Mota y Weimberger, son poco fiables en zonas templado cálidas de alta insolación (Gil-Albert, 1989) como es el caso de las localidades estudiadas.

Por otro lado, en regiones con inviernos benignos, el modelo Da Mota subestimó las HFe, en tanto que Weimberger las sobrestimó (García *et al.*, 2009; García *et al.*, 2011). En “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle”, el comportamiento del modelo Da Mota fue similar al informado por los

autores mencionados, mientras que la estimación de las HFe con el modelo de Weimberger presentó un comportamiento contrario, a excepción de la localidad de “Las Tejas”.

Con respecto a los modelos que utilizan las temperaturas máximas y mínimas diarias para estimar las HF presentaron un comportamiento diferente para los sitios evaluados. La estimación de HF por los modelos Crossa y Raynaud, y Anderson y Seeley presentaron valores inferiores a los obtenidos por el conteo efectivo en todos los años y regiones evaluadas, siendo las diferencias encontradas entre el 20 y 35 % según el sitio. Por el contrario, el modelo de Sánchez Capuchino sobreestimó las HFr para los distintos sitios de evaluación, siendo las diferencias encontradas muy pequeñas, no superando el 10 %.

Al estimar la cantidad de horas de frío acumuladas durante el 2006 y 2007 con los modelos que presentaron un buen ajuste en la localidad de Esperanza, Santa Fe, observaron que en ambos años Sánchez Capuchino sobrestimó a las HFe (García, 2012), resultados que coinciden con los obtenidos en este trabajo.

Para los cuatros sitios, los modelos que mayores coeficientes de determinación (R^2) alcanzaron fueron Crossa y Raynaud, Sánchez Capuchino, y Anderson y Seeley.

4.4.3. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA CALIDAD DEL FRÍO INVERNAL

4.4.3.1. Rosario de Colana, Pomán, Catamarca

En “Rosario de Colana” se alcanzó todos los años 1.100 HFr, las 1.300 HFr fueron satisfechas en el 45 % de los años, y las 1.500 HFr en el 18 % de los años (Tabla 4.20). La fecha más temprana y la más tardía en las que fue alcanzado un determinado valor de HFr y su respectiva diferencia (amplitud) son también indicadores de la variación entre años. Se observó que las 800 HFr fueron alcanzadas en la fecha media 14-07 y que los máximos y mínimos observados, correspondieron al 25-07 y el 05-07 con una amplitud de 20 días.

Tabla 4.20. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Rosario de Colana, Pomán, Catamarca.

	Horas de frío											
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
% de años	100	100	100	100	100	100	100	100	82	45	28	18
Fecha media	15-6	23-6	30-6	07-7	14-7	23-7	30-7	08-8	16-8	17-8	21-8	26-8
Fecha tardía	25-6	05-7	12-7	20-7	25-7	05-8	15-8	25-8	30-8	28-8	29-8	29-8
Fecha temprana	08-6	15-6	22-6	29-6	05-7	10-7	18-7	24-7	30-7	05-8	14-8	22-8
Amplitud (días)	17	20	20	21	20	26	28	32	31	23	15	7

4.4.3.2. Amadores, Paclín, Catamarca

Todos los años se alcanzaron 600 HFr en la localidad de “Amadores”, mientras que las 800 HFr se dieron en el 45 % y las 900 HFr en el 18 % de los años. La amplitud registrada a las 800 HFr fue de 22 días (Tabla 4.21).

Tabla 4.21. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Amadores, Paclín, Catamarca.

	Horas de frío									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
% de años	100	100	100	100	100	100	82	45	18	
Fecha media	03-6	18-6	28-6	08-7	20-7	01-8	12-8	16-8	24-8	
Fecha tardía	09-6	26-6	06-7	20-7	27-7	16-8	28-8	25-8	28-8	
Fecha temprana	23-5	04-6	17-6	28-6	07-7	15-7	24-7	03-8	20-8	
Amplitud (días)	17	22	19	22	20	32	35	22	8	

4.4.3.3. Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca

Esta localidad fue la de menor acumulación de frío, donde se muestra que para todos los años de evaluación se alcanzaron 200 HFr, mientras que las 300 HFr se ocurrieron en el 73 %, las 400 HFr en el 55 % y las 500 HFr en el 9 % de los años de estudio. Se observó que las 300 HFr fueron alcanzadas en la fecha media 22-07 y que los máximos y mínimos observados, correspondieron al 03-08 y el 07-07 con una amplitud de 27 días (Tabla 4.22).

Tabla 4.22. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Las Tejas, Valle Viejo, Catamarca.

	Horas de frío										
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
% de años	100	100	100	100	90	73	64	55	27	9	9
Fecha media	08-6	22-6	29-6	11-7	15-7	22-7	31-7	09-8	10-8	13-8	23-8
Fecha tardía	22-6	09-7	22-7	17-8	29-7	03-8	15-8	24-8	25-8	13-8	23-8
Fecha temprana	26-5	12-6	16-6	23-6	28-6	07-7	13-7	22-7	26-7	13-8	23-8
Amplitud (días)	27	27	36	55	31	27	33	33	30	0	0

4.4.3.4. Colonia de Valle, Capayán, Catamarca

En “Colonia del Valle” se alcanzó todos los años las 400 HFr, las 800 HFr fueron satisfechas en el 50 % de los años, mientras que las 1.000 HFr sólo en 17 % de los ciclos invernales evaluados. Se observó que las 400 HFr fueron alcanzadas en promedio el 11-07 y que las correspondientes fechas máximas y mínimas fueron el 04-08 y el 25-06 con una amplitud de 40 días (Tabla 4.23).

Tabla 4.23. Resumen estadístico descriptivo de la variable Días Julianos (DJ) observada en cada rango de horas de frío reales (HFr). Localidad: Colonia del Valle, Capayán, Catamarca.

	Horas de frío									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
% de años	100	100	100	100	83	67	67	50	17	17
Fecha media	04-6	18-6	29-6	11-7	19-7	25-7	07-8	14-8	03-8	15-8
Fecha tardía	18-6	29-6	13-7	04-8	06-8	05-8	21-8	25-8	03-8	15-8
Fecha temprana	26-5	08-6	18-6	25-6	01-7	09-7	19-7	26-7	03-8	15-8
Amplitud (días)	23	21	25	40	36	27	33	30	0	0

4.4.4. ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD QUE POSEE CADA ZONA DE CUMPLIR CON UNA DETERMINADA CANTIDAD DE HORAS DE FRÍO

En las tablas 4.24 y 4.25 se presentan los modelos logísticos de distribución de probabilidad y sus estadígrafos de bondad de ajuste respectivamente para cada una de las zonas en evaluación.

Tabla 4.24. Modelos de ajuste “logísticos” calculados por localidad.

Localidad	Modelo de ajuste
Rosario de Colana	$P = e^{(16,98-0,01279*HF)} \cdot (1 + e^{(16,98-0,01279*HF)})^{-1}$
Amadores	$P = e^{(15,28-0,01921*HF)} \cdot (1 + e^{(15,28-0,01921*HF)})^{-1}$
Las Tejas	$P = e^{(7,47-0,01933*HF)} \cdot (1 + e^{(7,47-0,01933*HF)})^{-1}$
Colonia del Valle	$P = e^{(6,5-0,00822*HF)} \cdot (1 + e^{(6,5-0,00822*HF)})^{-1}$

Tabla 4.25. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste de los modelos de cada región.

Localidad	Análisis de la desviación		% desviación explicada	Prueba de bondad de ajuste χ^2	Valor P (Proporción de verosimilitud)
	Valor P(modelo)	Valor P(residuo)			
Rosario de Colana	0,0001	1,0000	52	0,88	0,0001
Amadores	0,0001	1,0000	38	0,98	0,0001
Las Tejas	0,0001	1,0000	37	0,98	0,0001
Colonia del Valle	0,0001	0,94	42	0,99	0,0001

En los cuatro modelos los valores de $P_{(modelo)}$ fueron menores de 0,01, existió una relación $HF-P_{(modelo)}$ con significación estadística. La “Desviación” indica que la variabilidad de las HF explica el 52, 38, 37 y 42 % de la variabilidad encontrada en los valores de probabilidad para “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle”, respectivamente.

La probabilidad de los residuos fue mayor / igual que 0,1 lo que indica que el modelo establecido fue el mejor posible (Tersoglio y Naranjo, 2007a y 2010). El valor de la P_{χ^2} fue menor de 0,1 indicando que la función logística ajustó adecuadamente (Tersoglio y Naranjo, 2007a y 2010). La prueba de proporción de verosimilitud indica que el modelo no puede ser simplificado con un nivel de confianza del 99 %.

Las figuras 4.6a y b presentan la distribución de probabilidades de alcanzar valores entre 0 y 1.500 HF en “Rosario de Colana” y “Amadores”, respectivamente. Ambas figuras presentan como disminuye la probabilidad para satisfacer los requerimientos de una especie frutal caducifolia en cada localidad a medida que aumentan las HF necesarias de la especie o cultivar.

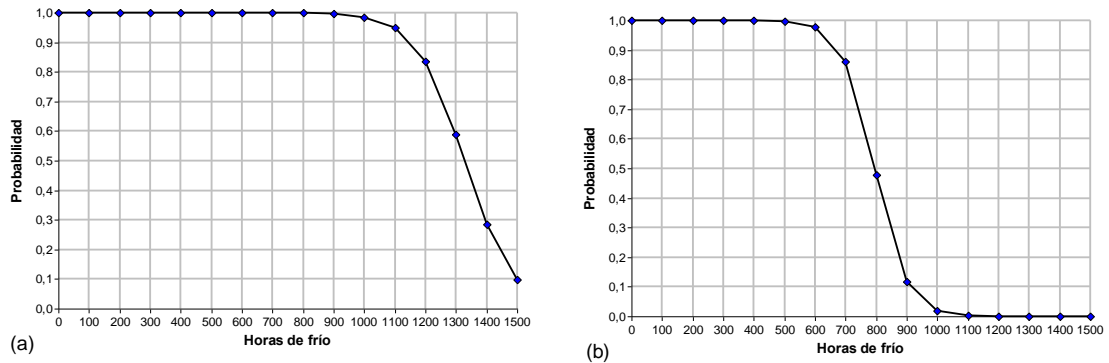


Figura 4.6. Modelo de regresión logístico que estima la probabilidad que posee la localidad de Rosario de Colana (a) y Amadores (b) de alcanzar un valor de horas de frío (HF).

Las figuras 4.6a y b muestran que a un mismo requerimiento (ej. 800 HF), la localidad de “Rosario de Colana” (Pomán) posee un porcentaje de probabilidad del 100 %, mientras que en “Amadores” (Paclín) es del 48 %. Inversamente, existe una probabilidad del 98 % de alcanzar una acumulación de 1000 HF en “Rosario de Colana”, y de 600 HF en “Amadores”.

Por otro lado, en la figura 4.7a y b se presenta la distribución de probabilidades de alcanzar valores entre 0 y 1.000 HF en las localidades “Las Tejas” y “Colonia del Valle”, respectivamente. Estas dos zonas de menor altitud poseen escasas probabilidades de satisfacer los requerimientos de variedades exigentes en frío, solo es posible cumplir las demandas de cultivares con requerimientos menores de 300 y 400 HF. Cultivares con requerimientos de aproximadamente 300 HF podrían ser cultivadas con éxito en el 85 % de los años en “Las Tejas” y en el 98 % de los casos en “Colonia del Valle”.

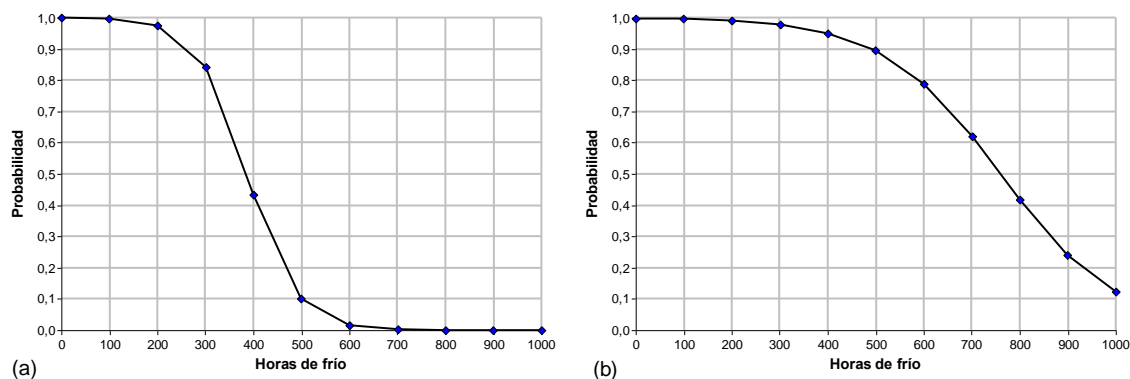


Figura 4.7. Modelo de regresión logístico que estima la probabilidad que posee la localidad de Las Tejas (a) y Colonia del Valle (b) de alcanzar un valor de horas de frío (HF).

Por otro lado, para un requerimiento de 400 HF la localidad de “Las Tejas” (Valle Viejo) posee un porcentaje de probabilidad para alcanzarlos del 43 % de los años mientras que en “Colonia del Valle” (Capayán), la probabilidad sube al 95 %.

El modelo de regresión logística permite calcular la probabilidad que posee cada zona de satisfacer una determinada demanda de frío de los cultivares de nogal europeo y pecan. Esta herramienta posibilitará que el productor evalúe los riesgos que tiene su plantación de experimentar daños por falta de frío y ejecutar eventuales medidas correctivas para minimizarlos.

4.5. CONCLUSIONES

- “Rosario de Colana” fue el área con la mayor acumulación de frío, seguido de “Amadores”, “Colonia del Valle” y “Las Tejas”.
- La cuantificación de la disponibilidad real de frío en los distintos sitios con el modelo de horas de frío tuvo en general un CV más bajo que el modelo de unidades de frío Utah modificado.
- En las localidades de mayor altitud como lo son “Rosario de Colana” y “Amadores” los CV entre años fueron semejantes al comparar los modelos de horas de frío (HF) y unidades de frío Utah modificado (UFUM). Para estos sitios más fríos el modelo de UFUM puede ser empleado de manera satisfactoria. Mientras que, para los sitios de menor altitud, como “Las Tejas” y “Colonia del Valle”, el modelo de UFUM presentó un CV más alto en comparación al modelo de horas de frío.
- Como resultado de su menor variación y amplia aplicación, en general se podría recomendar al modelo de horas de frío para cuantificar la disponibilidad de frío en condiciones climáticas cálidas. Sin embargo, se deben realizar evaluaciones in situ ya que este modelo puede llegar a tener un bajo CV en comparación con otros, pero podría no ser el adecuado ya que no refleja la realidad del sitio.
- La distribución de las HF y UFUM a lo largo del año se concentra en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Los meses más eficientes para la acumulación de frío fueron junio, julio y agosto, aunque mayo también contribuyó considerablemente en algunos años.
- De los modelos estudiados para la estimación de las HF el de Sánchez Capuchino fue el que mejor aproximación tuvo en la determinación de las horas de frío reales en todos los sitios de evaluación. Este modelo sobreestimó las horas de frío efectivas entre un 5 y 10 % dependiendo del sitio.

- Con el modelo de Sánchez Capuchino, se pueden estimar las horas de frío efectivas para meses y años particulares, lo cual permite efectuar una correcta caracterización del régimen agroclimático de horas de frío efectivas para una localidad.
- Los modelos de Sharpe, Da Mota y Weimberger, que usan las temperaturas medias mensuales para hacer la estimación de las HF presentaron bajos coeficiente de determinación y son considerados poco fiables para los sitios de estudio.
- La localidad de “Rosario de Colana”, tuvo una probabilidad de alcanzar su valor medio de disponibilidad de frío (1.317 HF) en aproximadamente el 60 % de los años. Por otra parte, la disponibilidad media de HF de “Amadores” fue de 793 HF y la probabilidad de ser cumplida fue del 48 %.
- La localidad de “Las Tejas”, tuvo una probabilidad de alcanzar su valor medio de disponibilidad de frío (382 HF) en aproximadamente el 52 % de los años. Por otra parte, la disponibilidad media de HF de “Colonia de Valle” fue de 757 HF y la probabilidad de ser cumplida fue del 51 %.
- La disponibilidad de HF reales y UFUM de las zonas estudiadas indicó que, aunque el valor promedio puede llegar a satisfacer los requerimientos de frío de los cultivares de nogal europeo y pecan, existen años en los cuales no fue posible cumplir tales exigencias.
- La disponibilidad de frío de los sitios evaluados permite, en general, la producción del nogal europeo y el pecan en esta región. Sin embargo, la aptitud para ambos cultivos varía sensiblemente según el cultivar considerada. “Rosario de Colana” y “Amadores”, permitiría la implantación de cultivares con altas a media exigencia en frío. Por otro lado, las localidades de “Las Tejas” y “Colonia del Valle” permitirían el desarrollo de cultivares con bajas exigencias en frío. Estas últimas zonas presentan un desarrollo más reciente de la nogalicultura, por lo que los resultados de esta tesis serán de utilidad.

- La nuez de pecan en Catamarca aparece como una alternativa productiva, ya que de acuerdo al análisis de la oferta de frío se demostró que los requerimientos de frío se cumplen en una alta proporción de los años evaluados. Este aspecto es muy importante ya que permitiría aumentar considerablemente la producción provincial de nueces, aprovechando el conocimiento y la tradición del cultivo de nogal europeo en la región.

**CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL Y
CONSIDERACIONES FINALES**

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN GENERAL Y CONSIDERACIONES FINALES

5.1. DISCUSIÓN GENERAL

El éxito de una plantación es lograr un equilibrio entre una máxima capacidad reproductiva y el comportamiento vegetativo en la zona donde se ubica. El primer paso será por lo tanto conocer adecuadamente el comportamiento agronómico y el ambiente de la especie que nos interesa (Madero *et al.*, 2016).

En el momento actual la expansión de las plantaciones de frutos secos, entre ellos nogal y pecan, está disparada a nivel mundial por el consumo de productos saludables (Eneroth *et al.*, 2017; FAO, 2022; MAGyP, 2018). Sin embargo, no siempre se localizan estas nuevas plantaciones en sitios apropiados, ni se eligen los materiales más adecuados para cada ambiente, ni tampoco se tiene presente el escenario climático que se avecina (Aletà *et al.*, 2021; Vitasse *et al.*, 2011; Luedeling, 2012).

Un claro ejemplo de esta situación son la expansión de nuevas plantaciones de nogal/pecan en sitios de menor altitud de la provincia de Catamarca. En estas nuevas ubicaciones se deberían haber definido qué cultivares son los más apropiados, previo a que se diera la expansión del cultivo.

5.1.1. REQUERIMIENTOS DE FRÍO Y CALOR PARA BROTAÇÃO DEL NOGAL EUROPEO Y EL PECAN

Como se ha indicado en esta investigación existe un creciente interés por las posibilidades de cultivar el nogal europeo en zonas de menor altitud como así también el cultivo de pecan. Por ello es interesante disponer de cultivares adecuados que se ajusten a los sitios de producción. Cada especie y cultivar frutal de follaje caduco posee una demanda determinada de acumulación de frío y de calor, aspecto necesario a la hora de definir qué frutales pueden cultivarse en una zona determinada (Flores, 2007; Louzada, 2012). De esta manera, si se establece

un cultivar en un área donde sus requerimientos de frío no están satisfechos adecuadamente el crecimiento vegetativo y reproductivo de la misma se verá afectado negativamente (Leite *et al.*, 2004; Maulión *et al.*, 2014).

Requerimientos de frío

En este sentido se han determinado las necesidades de frío y de calor para obtener una brotación adecuada de los cultivares 'Chandler' y 'Trompito INTA' en nogal europeo, y 'Stuart', 'Pawnee' y 'Western' en pecan. Los requerimientos de frío de los cultivares de nogal europeo se determinaron entre 500 y 800 unidades de frío Utah modificada (UFUM) u horas de frío (HF), coincidiendo estos resultados con los indicados por Chandler *et al.* (1937), quienes estimaron el requerimiento de frío de cultivares de nueces entre 400 y 1.500 h por debajo de 7,2 °C. De acuerdo a estos autores, son pocos los cultivares de nogal europeo con requerimientos de frío menores a 800 HF, o si los hay no son de buen valor comercial, o son de reciente liberación de programas de mejoramiento genético, como por ejemplo el cultivar 'Damavand' (antes genotipo iraní 'Z30') con requerimientos de frío de 650 HF (Aslamarz *et al.*, 2009; Hassani *et al.*, 2020). Entre los cultivares de bajos requerimientos de frío y con buen valor comercial se puede mencionar a 'Sunland' (550 HF) y 'Serr' (650 HF) (Aslamarz *et al.*, 2009; Hassankhah *et al.*, 2017). En tal sentido, a partir de los datos obtenidos se destaca la importancia del cv. 'Trompito INTA' por su altísima calidad comercial (Cittadini *et al.*, 2020) y por sus bajos requerimientos de frío (Carabajal *et al.*, 2021). De acuerdo a la clasificación realizada por Aslamarz *et al.* (2009) podría catalogarse a 'Trompito INTA' como un cultivar de nogal europeo de bajos requerimientos de frío.

Carabajal (2015a y 2015b) hace referencia a la falta de información científica sobre los requerimientos de frío y calor de los cultivares de nueces y genotipos de nogal INTA. En tal sentido, la metodología utilizada y los resultados obtenidos en esta Tesis aportan al conocimiento sobre los requerimientos de frío de los cultivares de nueces en especial a los nuevos genotipos de nogal INTA, y proporciona una metodología para evaluar los genotipos faltantes.

Por otro lado, la gama de requerimientos de frío de los cultivares de pecan estudiadas variaron de 300 a 800 UFUM (HF). Los resultados obtenidos están de acuerdo a lo indicado por Grageda Grageda *et al.* (2013), quienes destacan que los requerimientos de frío en pecan no han sido debidamente precisados, no obstante, menciona que en términos generales el pecan requiere de 400 a 1.000 horas frío ($\leq 7,2$ °C), según el cultivar.

Requerimientos de calor

Con acumulaciones crecientes de frío, el TMB se redujo hasta estabilizarse, lo cual significa que fueron cubiertos los requerimientos de frío. En ese instante, el tiempo medio de brotación ya no hace referencia a la profundidad de la endodormición, sino al tiempo necesario para cubrir las sumas térmicas que cada tipo de yema y cultivar requiere para iniciar la brotación (Balandier *et al.*, 1993a; Gariglio *et al.*, 2006; Sozzi *et al.*, 2008). O sea que al TMB, si lo convertimos en grados días de crecimiento (GDC) expresa el requerimiento de calor, el cual es mayor cuanto más dormida esté la yema. En casos de una dormición muy profunda, la brotación no ocurrirá, aunque se suministren excesivas unidades de calor, tal como fue observado en el nogal europeo con acumulaciones de 0 y 100 UFUM (HF). Estos valores se hacen mínimos cuando los requerimientos de frío se cubren totalmente (Arnold, 1959; Citadin, 1999).

Spiegel-Roy y Alston (1979) informaron que los requerimientos de frío y de calor en el peral están estrechamente relacionados con el tiempo de brotación, aunque en otros casos se ha encontrado que los requerimientos de frío y de calor son interdependientes (Roschildt Sperling, 2021), e incluso en diferentes variedades de duraznero, existe una relación inversa entre el efecto de la acumulación de frío y calor (Citadin *et al.*, 2001). Así, mayores exposiciones a frío conducen a una reducción de los requerimientos de calor. Los resultados obtenidos en esta Tesis corroboran que los cultivares de nogal europeo y pecan, en reposo o parcialmente enfriados, son capaces de brotar, pero requieren mucha más acumulación de calor en comparación con las situaciones en las que se satisficieron los requerimientos de frío. Resultados similares fueron informados

para duraznero (Richardson *et al.*, 1975), cerezo (Tersoglio *et al.*, 2006) y en algunos genotipos iraníes de nogal europeo (Aslamarz *et al.*, 2009).

Tiempo medio de brotación

Gariglio *et al.* (2006a), Brighenti (2012) y Oukabli y Mahhou (2007), observaron que en algunos de los cultivares de duraznero, pera, y cerezo dulce, respectivamente, el tiempo medio de brotación (TMB) no pudo ser medido cuando la acumulación de frío fue menor a la 100 HF (UFUM) ya que los ramos del año no brotaron. En este trabajo también se dio esta misma situación en los cultivares de nogal europeo, 'Chandler' y 'Trompito INTA', en las cuales no hubo brotación en los tratamientos de 0 y 100 UFUM (HF) en ambos años de estudio, por lo que en estos tratamientos no se pudo determinar el TMB de las yemas vegetativas terminales y laterales.

En los cultivares de pecan, el TMB más alto se registró cuando no se acumuló frío. Estos resultados coinciden con los reportados por Campoy *et al.* (2011b) quienes observaron en damasco un alto valor de TMB justo antes de la acumulación de frío (principio de invierno), mostrando un estado de dormición ya impuesto como habían informado estudios previos (Crabbé y Barnola, 1996; Haguage y Cummins, 1991). Esta observación apoya la idea de que la inducción de la dormición es un continuo que, en algunas plantas, comienza tan pronto como la brotación en la primavera (Arora *et al.*, 2003).

Una vez cubierto los requerimientos de frío el TMB de los cultivares de nogal europeo y pecan están entre los 35 y 70 días. Este es un valor alto si lo comparamos con el TMB de otras especies frutales, como ser el duraznero donde los valores de TMB se encuentran entre los 3 y 18 días, dependiendo del cultivar (Balandier *et al.*, 1993a, 1993b; Gariglio *et al.*, 2006; Gariglio *et al.*, 2012; Lam-Yam, 1990). En damasco el TMB se estabiliza en valores comprendidos entre los 12 y 18 días (Campoy *et al.*, 2011a y 2011b). Por otro lado, en los cultivares de higuera el TMB estuvo entre los 10 y 20 días dependiendo del cultivar (Oukabli y Mekaoui, 2012). Este alto valor de TMB luego de la acumulación de frío de los

nogales explicaría la tardía brotación y floración de estas especies en comparación a otros frutales de clima templado.

Reacción yemas terminales versus laterales

De acuerdo a algunos autores las yemas terminales requieren menos acumulación de frío que las yemas laterales (Campoy *et al.* 2011a; Erez, 2000; Naor *et al.*, 2003; Scalabrelli y Couvillon, 1986; Tabuenca, 1964). Sin embargo, en este estudio tanto las yemas terminales como las laterales alcanzaron la saturación en respuesta a las bajas temperaturas con el mismo requerimiento de frío, indicando que sus requerimientos de frío son los mismos. En cambio, lo que fue diferente entre ambos tipos de yemas fue la profundidad de la dormición (valor de TMB), siendo mayor en las yemas laterales que en las terminales, lo que está en concordancia con trabajos anteriores (Champagnat, 1983; Crabbé y Barnola, 1996; Mauget y Rageau 1988; Williams *et al.*, 1978). Por lo tanto, no debe confundirse los requerimientos de frío con la profundidad de la dormición de ambos tipos de yemas.

Un alto enfriamiento provocó un aumento significativo en el porcentaje de brotación (cerca al 100 %) de las yemas terminales y laterales, independientemente del cultivo y el cultivar. Todos los cultivares probados en los dos ciclos alcanzaron la máxima brotación del 100 % de yemas terminales y laterales en algún momento durante el experimento, demostrando que la capacidad para brotar de las yemas no decae, como si fue observado en otras especies como en peral y duraznero (Brighenti, 2012; Gariglio *et al.*, 2006).

Plantas en macetas versus varetas de un año

Por otro lado, los ensayos con frío artificial indicaron una ligera sobreestimación del requerimiento de frío de las plantas en macetas (PEM) respecto de las determinaciones con varetas de un año (VDA). También en esquejes de duraznero y cerezo las respuestas de brotación eran semejantes a la de las plantas adultas (Fadón *et al.*, 2020). Sin embargo, Dennis Jr. (2003) menciona que los esquejes de un solo nudo son de poca utilidad para determinar la

respuesta de árboles completos, ya que el desarrollo de yemas en estos últimos se verá afectado por la inhibición correlativa, incluida la dominancia apical.

Los resultados obtenidos son muy alentadores demostrando el adecuado comportamiento de las varetas de nogal europeo y de pecan, que soportaron períodos muy prolongados de tiempo sin deshidratarse (cerca de 140 días en algunos casos). Por otro lado, si bien los resultados no fueron idénticos, las varetas aisladas permitieron una adecuada interpretación de la respuesta de las plantas de nogal europeo y de pecan a la acumulación de frío artificial, y no justifica el uso de plantas en macetas.

Respuesta al enfriamiento

Para las VDA de los cultivares de nogal europeo no existieron grandes diferencias según el criterio que se tomó para la determinación de los requerimientos de frío (TMB o porcentaje de brotación). En cambio, en los cultivares de pecan las diferencias fueron marcadas según el criterio que se empleó. Gariglio *et al.* (2006), destaca la importancia de emplear estas dos maneras de expresar los resultados ya que les permitió explicar la ocurrencia de la floración del duraznero después de la formación de las hojas en brotes no enfriados del cv. 'San Pedro 16-33', debido a que el TMB de las yemas de flor y las vegetativas eran iguales cuando no acumularon frío. Esta es una razón adicional para usar el método de medición del tiempo medio de brotación versus el porcentaje de brotación para medir la respuesta al enfriamiento.

Sin embargo, esta diferencia observada entre el nogal europeo y el pecan en cuanto a los dos criterios empleados para determinar los requerimientos de frío otorgan una información adicional de gran importancia agronómica. En el caso del nogal europeo cuando no se cubrieron los requerimientos de frío hubo escasa o nula brotación tanto en las varetas como en las plantas en maceta. Esto implicaría que en el campo se manifiesten los síntomas de falta de frío. En cambio, en el pecan, aunque no se cubrieron los requerimientos de frío existió una adecuada brotación, o dicho de otra manera, no se manifiestan los síntomas de falta de frío tanto en los ensayos de laboratorio (método biológico) como en el campo. Esta

característica le permitiría al pecan un buen comportamiento agronómico en un amplio rango de acumulación de frío, lo cual no ocurre en el nogal europeo. Sin embargo, el análisis no incluyó el comportamiento reproductivo del pecan ante estas diferentes situaciones de acumulación de frío, aspecto que es solo posible de evaluar a campo y con plantas adultas.

5.1.2. PROGRESIÓN NATURAL DE LA DORMICIÓN

Liberación de la endodormición

En condiciones de campo la máxima profundidad de dormición de los cultivares de nogal europeo y pecan se alcanzaron en general antes en las áreas cálidas que en áreas frías. Como los fotoperiodos fueron bastante similares en estas áreas (misma latitud), las condiciones climáticas impuestas por las diferentes altitudes podrían explicar estas diferencias, tal como se demostró que las bajas temperaturas otoñales disminuyeron la profundidad máxima de la dormición tanto de los nogales como de los pecanes. Por lo tanto, cuanto más cálida es la zona, más temprana es la inducción a la dormición, y más profunda. Además, dentro de todas las áreas estudiadas, la liberación de la endodormición fue más temprano en las áreas más cálidas que en las más frías, lo cual estaría indicando que los cultivares se encuentran en estado de endodormición al final del período invernal (Tominaga *et al.*, 2022).

Acumulación de frío natural en campo versus frío artificial en cámara

El conocimiento de los requerimientos de frío calculados en las VDA expuestas a la acumulación natural de frío en condiciones de campo fue diferente, siendo en general ligeramente menores y más variables respecto a los calculados en las condiciones de acumulación de frío artificial en cámara. Estos resultados se corresponden con los de Gariglio *et al.* (2006a) quienes reportaron que bajo condiciones de acumulación de frío artificial el cultivar de duraznero 'Flordaking' supero la dormición con 200 HF para las yemas vegetativas, mientras que Gariglio *et al.* (2012) obtuvo bajo condiciones de acumulación de frío natural a campo, un requerimiento entre 136 y 172 HF para el mismo cultivar.

Simulación de la progresión de la profundidad de la dormición

Con base a los resultados de experimentación obtenidos en esta Tesis se propusieron modelos que simulen los cambios en el TMB durante el período invierno-primaveral, tanto para el nogal europeo como para el pecan. Los modelos propuestos presentan la particularidad de que se basan en un mayor conocimiento del fenómeno fisiológico de la dormición de cada uno de los cultivares estudiados.

Los modelos propuestos presentaron un buen ajuste solo para algunos cultivares y sitios, mientras que para las otras situaciones no se pudo estimar con precisión la progresión de la dormición. El frío acumulado modifica año a año la profundidad máxima de la dormición; y por lo tanto su progresión. El aspecto original de estos modelos se basa en que la progresión de la profundidad de la dormición sería modificada diariamente por la acumulación de frío o por la acumulación de calor, según cuál sea el efecto predominante (Cook *et al.*, 2017). La acumulación de frío disminuye el TMB por la modificación del balance de promotores/inhibidores mientras que la acumulación de calor cubre parte de las sumas térmicas requeridas para la brotación (Hajinia *et al.*, 2021). Los avances del conocimiento fisiológico de la dormición, fundamentalmente en lo que respecta a la señalización externa relacionada con la progresión de la dormición, abriría una nueva mirada de la simulación de la dormición, posibilitando el desarrollo de modelos más fiables (Campoy *et al.*, 2011b). Los datos generados en esta tesis permitirán avanzar en la mejora de los modelos presentados, y en nuevas versiones de los mismos, aspecto que escapa a los objetivos de este manuscrito.

5.1.3. DISPONIBILIDAD DE FRÍO INVERNAL

Debido a la marcada variación altimétrica que tiene la provincia de Catamarca, posibilita el desarrollo de una fruticultura diversa, donde los frutales caducifolios podrían ocupar áreas importantes. Esta variabilidad limita la determinación confiable de las potenciales áreas de producción para cada cultivar (Cólica, 2015). Por ello, es necesario conocer previamente la disponibilidad de frío invernal de cada área de cultivo del nogal europeo (Carabajal, 2015b; Del Barrio y Martín,

2011) y pecan (Ribeiro Crosa, 2021), de modo que ayude a proporcionar criterios para la elección de genotipos convenientes, y mejorar la producción del nogal europeo, del pecan, y la calidad de los frutos de ambas especies.

Variabilidad en la disponibilidad de frío

Este trabajo hace una pequeña contribución a este tema y buscó determinar la disponibilidad de frío para cuatro localidades de la provincia de Catamarca, a saber, “Rosario de Colana”, “Amadores”, “Las Tejas” y “Colonia del Valle”. El coeficiente de variación (CV) para las distintas localidades fue mayor en aquellas con inviernos más suave (menor altitud), como lo es “Colonia del Valle” y “Las Tejas”, mientras que en las localidades con inviernos fríos (mayor altitud) se observó una menor variabilidad en la acumulación de horas de frío. Esta situación también fue observada para las localidades de “Rafaela”, “Sauce Viejo” y “Esperanza” de la provincia de Santa Fe, Argentina (García, 2012).

Comparación de los modelos de horas de frío y unidades de frío Utah modificado

Por otra parte, en los sitios de mayor altitud la variabilidad entre años fue semejante al comparar los modelos de HF y UFUM. Para estos sitios más fríos el modelo de UFUM puede ser empleado de manera satisfactoria. Mientras que para los sitios de menor altitud como “Las Tejas” y “Colonia del Valle” la disponibilidad de frío y el CV entre años fue diferente al comparar los modelos de HF y UFUM. Tanto en “Las Tejas” como en “Colonia del Valle”, la variabilidad de la acumulación de frío, fue mayor en el modelo de UFUM y la disponibilidad de frío fue menor con este modelo. Petri *et al.* (2021), reportaron que es frecuente la interrupción del invierno por altas temperaturas que resultan en un efecto negativo en el acumulado de frío, lo que permite afirmar que el método UFUM es más sensible para cuantificar el frío disponible para regiones con grandes fluctuaciones de temperatura en el otoño y el invierno, mientras que para regiones con menor amplitud térmica el modelo HF es más adecuado (Yoshikawa *et al.*, 2018; Petri *et al.*, 2006).

Modelos para la estimación de horas de frío

De los modelos estudiados para la estimación de las HF el de Sánchez Capuchino fue el que mejor aproximación tuvo en la determinación de las horas de frío reales en todos los sitios de evaluación. Este modelo sobreestimó las horas de frío efectivas entre un 5 y 10 % dependiendo del sitio. García (2012) al estimar la cantidad de horas de frío acumuladas durante los años 2006 y 2007 con los modelos que presentaron un buen ajuste en la localidad de Esperanza, Santa Fe, observaron que en ambos años Sánchez Capuchino sobrestimó a las HF, lo que coincide con lo obtenido en este trabajo.

Los resultados obtenidos indican que la disponibilidad de frío de los sitios evaluados permite, en general, la producción del nogal europeo y el pecan en esta región. Sin embargo, la aptitud para ambos cultivos varía sensiblemente según el cultivar considerada. “Rosario de Colana” y “Amadores”, permitiría la implantación de cultivares con altas a media exigencia en frío. Por otro lado, las localidades de “Las Tejas” y “Colonia del Valle” permitirían el desarrollo de cultivares con bajas exigencias en frío. Estas últimas zonas presentan un desarrollo más reciente de la nogalicultura, por lo que los resultados de esta tesis serán de utilidad.

5.2. CONSIDERACIONES FINALES

El cultivo del nogal europeo, constituye una de las actividades frutícolas de mayor importancia para la provincia de Catamarca, con una superficie implantada de 4.063 ha, representando el 25,4 % del total nacional (CNA, 2018). Así mismo, el cultivo de pecan es otro fruto seco, de expansión más reciente, de gran relevancia para Catamarca, que se posicionó como la segunda provincia de Argentina en superficie implantada con 458 ha, representando el 15 % a nivel nacional (CNA, 2018). La tasa de implantación del cultivo de pecan fue más alta en comparación a otros frutos secos, debido al incremento del precio internacional propiciado por la alta demanda de los mercados asiáticos. Esta condición ha provocado que el cultivo de pecan este considerado uno de los de mayor

crecimiento y que haya motivado el establecimiento de nuevas plantaciones en Argentina.

La producción del nogal europeo y del pecan se encuentran en un momento de expansión, no solo en Argentina sino en el mundo entero. Motiva esta tendencia la creciente demanda del consumo de este tipo de frutas, asociada a una alimentación saludable (Eneroth *et al.*, 2017), y otras ventajas logísticas tales como el alto valor por unidad de peso y volumen, lo que enfatiza el transporte y la posibilidad del productor de diferir la venta del producto, a diferencia de otras frutas frescas (MAGyP, 2018).

La ampliación en la mismas huertas o apertura de nuevas huertas del cultivo de nogal europeo y pecan implica un renovado reto para la investigación de modo que puedan alcanzar el potencial genético en cada ambiente con el fin de obtener un retorno de la inversión en un menor plazo. Por lo anterior, el productor necesita contar con información ecofisiológica y climática confiable que sirva de apoyo para la toma de decisiones. Es por ello que el objetivo general de esta tesis fue contribuir al desarrollo de los cultivos de frutos secos en las regiones productoras actuales y potenciales de la provincia de Catamarca, mediante un mejor conocimiento de la demanda térmica de los genotipos de nogal europeo y de pecan, y la oferta ambiental de frío invernal.

5.2.1. IMPORTANCIA DE LA TESIS

La duración del enfriamiento es el factor más importante y decisivo para la producción comercial de cultivares de nogal europeo y pecan. Por lo tanto, los cultivares evaluadas permitirían el cultivo de pecan y nogal europeo desde las 300 y 500 UFUM (HF), respectivamente, comparado con los cultivares tradicionales cuyos requerimientos están por encima de las 700 HF. Se pone de manifiesto que los cultivares 'Western', 'Pawnee' y 'Trompito INTA' parecen ser más adecuados para cultivar en sitios con clima de invierno más cálidos. Alternativamente, 'Stuart' y 'Chandler' podrían ser apropiados para cultivar en regiones más frías y especialmente con riesgos de heladas tardías de primavera. Estos materiales permitirían ampliar las actuales zonas de producción.

Por otro lado, existen pocas posibilidades de expansión del cultivo del nogal europeo en las áreas tradicionales de montaña como lo es Catamarca, debido a las limitaciones del recurso agua. Sin embargo, hay zonas con adecuada disponibilidad hídrica, pero de menor altitud y oferta de frío invernal, con gran potencial para el cultivo de pecan u otras especies de bajo requerimiento en frío, donde el nogal europeo tiene pocas posibilidades de adaptación.

Con base en lo expresado, la extensión de la frontera del cultivo de nogal es más factible en nuevas áreas con inviernos irregulares donde el pecan, y algunos nuevos materiales genéticos de nogal europeo de menor exigencia de frío invernal (ej. 'Trompito INTA'), parecen presentar más factibilidad de adaptación.

Los cultivares de pecan no presentan un requerimiento de frío tan estricto como el nogal europeo y por lo tanto pueden producir buenos cultivos incluso en años y sitios con acumulación de frío limitada. Por lo tanto, la nuez de pecan en Catamarca aparece como una alternativa productiva, ya que de acuerdo al análisis de la oferta de frío se demostró que los requerimientos de frío se cumplen en una alta proporción de los años evaluados. Este aspecto es muy importante ya que permitiría aumentar considerablemente la producción provincial de nueces, aprovechando el conocimiento y la tradición del cultivo de nogal europeo en la región.

Los resultados de la disponibilidad de frío en los diferentes sitios demostraron lo complejo que es la interpretación climática en las zonas de producción de montaña como lo es la provincia de Catamarca, debido a los cambios altimétricos, lo cual implica grandes variaciones en los diferentes parámetros meteorológicos. La acumulación de frío se ve afectada por la localización geográfica, especialmente por la altitud. En este sentido, se ha observado una relación positiva entre acumulación de frío y altitud de las diferentes áreas evaluadas de la provincia de Catamarca. A priori esta relación podría ser una herramienta orientativa para estimar la disponibilidad de frío en aquellos sitios en los cuales no se dispone de información climática.

Por otra parte, la promoción de especies y cultivares específicas enfrenta dificultades debido a la falta de estaciones meteorológicas suficientes para la determinación de la cantidad de frío que se acumula en cada sitio en particular. Por lo tanto, la construcción de una red de estaciones meteorológicas sería un desafío de las instituciones provinciales para acompañar los esfuerzos de promoción de frutos secos en la provincia de Catamarca.

Esta Tesis permite afirmar la importancia de realizar investigaciones encauzadas a explicar la dinámica de la dormición, la cual es determinante para el ajuste de prácticas culturales eficientes ante la ocurrencia de anomalías y alteraciones que puedan originar una reducción en la calidad y la productividad. Entre esas prácticas se encuentra el empleo en tiempo y forma de sustancias químicas para la liberación de la dormición. Los resultados obtenidos en esta investigación sientan las bases para discernir la buena elección de material vegetal para las condiciones térmicas de la provincia de Catamarca.

Además, con este estudio se dispone de una metodología (método biológico) accesible y replicable para cuantificar los requerimientos térmicos de otros cultivares tanto de nogal europeo y pecan aun no caracterizadas, como así también la de otros frutales característicos de la región y que aún no fueron cuantificados (ej. Higuera).

De este modo, la estrategia de diversificación de cultivos y cultivares es una tarea que tendrán que apoyar los centros de investigación y las universidades que se dedican a la investigación frutícola, en conjunto con los organismos gubernamentales y los productores.

5.2.2. POTENCIALES APLICACIONES

5.2.2.1. Elección del cultivar

Este estudio establece información ecofisiológica necesaria para seleccionar los cultivares de nogal europeo y pecan según sus requerimientos térmicos.

5.2.2.2. Modelado de la dormición

Estos resultados son de gran importancia en los enfoques de modelado para predecir las fechas de liberación de la endodormición y brotación, ya que constituye una herramienta para optimizar la distribución geográfica de las especies en función de su adaptación y la fecha de aplicación de los productos químicos de interrupción de la dormición.

5.2.2.3. Programas de mejoramiento genético

El conocimiento de los requerimientos de frío y calor de los cultivares de nogal europeo y del pecan pueden ser utilizados en programas de mejoramiento genético. Los programas de mejoramiento de nueces, especialmente en los países líderes y más activos, se esfuerzan por generar cultivares con bajo requerimiento de frío y fecha de cosecha temprana. Además de la evaluación continua de la diversidad genética para liberar y desarrollar nuevos cultivares y portainjertos. Estos temas también son prioritarios en los programas de mejoramiento de nueces llevados a cabo por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

5.2.2.4. Programas de zonificación agroclimática

Las cuantificaciones de la cantidad de frío invernal disponible en un área podrían ser utilizados en programas de zonificación agroclimática, permitiendo el desarrollo de cultivares y/o especies adaptados a determinados sitios.

5.2.2.5. Complemento de cultivares

Es tal la predominancia del cultivar 'Chandler' en la gigantesca industria nogalera californiana y así mismo en la industria argentina, que no se puede hacer un uso eficiente de la maquinaria de cosecha o de la capacidad de secado. En este escenario, o se dimensiona esta infraestructura en función de la cosecha de 'Chandler' o se sacrifica calidad del producto. Por esta razón, el conocimiento de los requerimientos térmicos de los diferentes cultivares de nogal europeo

permitiría diseñar un plan de cosecha escalonada para complementar a ‘Chandler’ en cuanto a la fecha de cosecha.

Además, uno de los aspectos que se destacan del cultivo de pecan es que, claramente, se trata de un buen complemento para los productores de nogal europeo. Mientras la nuez de nogal europeo se recolecta entre marzo y abril, con cosechas que pueden extenderse hasta fines de mayo, el pecan se empieza a cosechar en junio. Además, es posible de utilizar las mismas máquinas para remecer los árboles, para barrer y para recoger. También es posible usar la misma despelonadora y secadores, y sistemas de carguío.

5.2.3. IMPLICANCIAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

5.2.3.1. Cambio climático

Es probable que el cambio climático afecte la disponibilidad futura del frío invernal y podría tener un impacto importante en la industria global de frutos secos en particular, al comprometer la capacidad de producir con éxito el mismo cultivar que en el pasado (Luedeling, 2012). Por lo tanto, se debería evaluar los posibles efectos del cambio climático global mediante estudios de tendencia de índices agroclimáticos durante las últimas décadas y su prospectiva a mitad y fin del siglo XXI mediante la aplicación de modelos climáticos globales, extendiendo el análisis a toda la región del NOA argentino y a otros frutales de clima templado de gran relevancia actual y potencial en dicho territorio.

Ante esta potencial disminución en la disponibilidad de frío invernal se debería contemplar los requerimientos de frío y calor de los cultivares de nogal europeo y pecan para producir el recambio varietal frente a estos nuevos escenarios climáticos, o la relocalización de las plantaciones. Tal es así que la cv. ‘Trompito INTA’ representaría un cultivar de nogal europeo con requerimientos de frío de 300 UFUM (HF) inferiores a los de ‘Chandler’, constituyéndose en una alternativa muy promisoriosa ante el cambio climático.

5.2.3.2. Determinación de los requerimientos térmicos para a otras especies y/o cultivares

El análisis realizado en esta investigación se lo podría extender a los demás materiales genéticos de nogal europeo obtenido por el programa de mejoramiento genético del INTA Catamarca (Delgado *et al.*, 2020). Estos nuevos materiales genéticos necesitan ser evaluados en base a sus requerimientos térmicos y productividad, para evitar errores de adaptación. Además, este estudio se lo podría extender a otros frutales de clima templado de gran relevancia actual y potencial en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque, N., García-Montiel, F., Carrillo, A., y Burgos, L. (2008). Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying the chill requirements. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2): 162–170.
- Aletà, N., Abelló, L., y Guardia, M. (2021). Efecto de los cambios en la fenología reproductiva del nogal sobre la producción. *Vida rural*, (506): 16–22.
- Aletà, N., Ninot, A., y Rovira, M. (2003). Variedades de nogal para la producción frutal. *Vida Rural*. España. p. 42–46.
- Alín, A. (2010). Minitab. *Revisiones interdisciplinarias de Wiley: estadísticas computacionales*, 2(6): 723–727.
- Alonso, M. R., Rodríguez, R. O., y Gómez, S. G. (2001). La utilización de las temperaturas máxima y mínima diarias para la estimación de la disponibilidad de horas de frío. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(3): 261–264.
- Álvarez Bravo, A., Bugarín Montoya, R., y Arellano Figueroa, M. E. (2019). Acumulación de horas frío para la producción de arándano en Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10: 175–185.
- Amling, H. J., y Amling, K. A. (1980). Onset, intensity, and dissipation of rest in several pecan cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105: 536–540.
- Anders, M. V., y Duran, J. M. (1999). Cold and heat requirement of apricot tree (*Prunus armenica* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74: 757–761.
- Anderson, J. L., y Seeley, S. D. (1992). Modelling strategy in pomology: Development of the Utah models. In *III International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management*, 313: 297–306.
- Anderson, J. L., Richardson, E. A., y Kesner, C. D. (1986). Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *International Society for Horticultural Science*, 184: 71–78.
- Andrés, M. V., y Durán, J. M. (1999). Cold and heat requirements of the apricot tree (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(6): 757–761.

- Anzanello, R., Fialho, F. B., y Santos, H. P. D. (2018). Chilling requirements and dormancy evolution in grapevine buds. *Ciência e Agrotecnologia*, 42: 364–371.
- Aravanopoulos, F. A., Ganopoulos, I., y Tsaftaris, A. (2015). Population and conservation genomics in forest and fruit trees. In: Kader, J. C., and Delseny, M. (Ed.), *Advances in Botanical Research*, pp. 125–155.
- Arnold, C. Y. (1959). The determination and significance of the base temperature in linear heat unit system. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 74: 430–445.
- Arora, R., Rowland, L. J., y Tanino, K. (2003). Induction and release of bud dormancy in woody perennials: A science comes of age. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 38(5): 911–921.
- Aslamarz, A. A., Vahdati, K., Rahemi, M., y Hassani, D. (2009). Estimation of chilling and heat requirements of some persian walnut cultivars and genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 44(3): 697–701.
- Aybar, V. E. (2003). Floración en olivo (*Olea europaea* L.): evaluación del ajuste de un modelo predictivo para las condiciones del Chaco Árido Argentino y utilización de hormonas exógenas. Tesis de M.Sc. Universidad de Buenos Aires, Argentina, 124 pp.
- Aybar, V. E., De Melo-Abreu, J. P., Searles, P. S., Matias, A. C., Del Rio, C., Caballero, J. M., y Rousseaux, M. C. (2015). Evaluation of olive flowering at low latitude sites in Argentina using a chilling requirement model. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(1): 1–13.
- Bailey, C. H., Kotowski, S., y Hough, L. F. (1982). Estimate of chilling requirements of apricot selections. *Acta Horticulturae*, 121: 99–102.
- Balandier, P., Gendraud, M., Rageau, R., Bonhomme, M., Richard, J. P., y Parisot, E. (1993a). Bud break delay on single node cuttings and bud capacity for nucleotide accumulation as parameters for endo- and paradormancy in peach trees in a tropical climate. *Scientia Horticulturae*, 55(3–4): 249–261.
- Balandier, P., Bonhomme, M., Rageau, R., Capitan, F., y Parisot, E. (1993b). Leaf bud endodormancy release in peach trees: evaluation of temperature models in temperate and tropical climates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67(1–2): 95–113. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90052-J](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90052-J)

- Barrales, L., Peña, I., y Fernández De La Reguera, P. (2004) Validación de modelos: un enfoque aplicado. *Agricultura Técnica (Chile)*, 64(1): 66–73.
- Bartolini, S., Zanol, G., y Viti, R. (2006). The cold hardiness of flower buds in two apricot cultivars. *Acta Horticulturae*, 701:141–145.
- Baumgarten, F., Zohner, C. M., Gessler, A., y Vitasse, Y. (2021). Chilled to be forced: the best dose to wake up buds from winter dormancy. *New Phytologist*, 230(4): 1366–1377.
- Bianchi, V. J., Arruda, J. J. P., Casagrande, J. G., y Herter, F. G. (2000). Estudo da paradormência em pereira por meio do método biológico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 22(2): 294–296.
- Bianchini, V. (2005). Cosecha y postcosecha de nueces de nogal. En: Manual FIA de apoyo a la formación de recursos humanos para la innovación agraria (Ed.), Producción de nueces de Nogal. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas. Chile, pp. 53–63.
- Botelho, R. V., Ayub, R. A., y Müller, M. M. L. (2006). Somatória de horas de frío e de unidades de frío em diferentes regiões do estado do Paraná. *Scientia Agraria*, 7(1–2): 89–96.
- Brighenti, L. M. (2012). Determinação da exigência da horas de frío para a superação da dormência em diferentes cultivares de pereira. Tesis de M.Sc. Universidade do Estado de Santa Catarina. Estado de Santa Catarina, Brasil, 57 pp.
- Byrne, D. H., y Bacon, T. (2009). Chilling accumulation: its Importance and Estimation. Disponible en: <http://aggie-horticulture.tamu.edu/stonefruit/chillacc.htm>. Acceso: 16/08/2019.
- Camargo Alvarez, H., Salazar-Gutiérrez, M., Zapata, D., Keller, M., y Hoogenboom, G. (2018). Time-to-event analysis to evaluate dormancy status of single-bud cuttings: An example for grapevines. *Plant Methods*, 14(1): 1–13.
- Camelatto, D., Nachtigall, G. R., Arruda, J. J. P., y Herter, F. G. (2000). Efeitos de flutuações de temperatura, horas de frio hibernal e reguladores de crescimento no abortamento de gemas florais de Pereira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 22: 111–117.
- Campoy, J. A., Ruiz, D., Cook, N., Alderman, L., y Egea, J. (2011a). Clinal variation of dormancy progression in apricot. *South African Journal of Botany*, 77(3): 618–630.

- Campoy, J. A., Ruiz, D., y Egea J. (2011b). Seasonal progression of bud dormancy in apricot (*Prunus armeniaca* L.) in a mediterranean climate: A single-node cutting approach. *Plant Biosystems*, 145(3): 596–605.
- Carabajal, D. E., Colica, J. J., Pratavia, A. G., Delgado, E. A., y Gariglio, N. F. (2021). Agronomic characterization of the 'Trompito INTA' persian walnut cultivar. *Agricultural Research*, 10(2): 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00582-8>.
- Carabajal, D. E. (2016). Caracterización morfológica, fenológica y productiva de cinco nuevas variedades de Nogal (*Juglans regia* L.) obtenidas por la E.E.A. Catamarca INTA. Tesis de M.Sc. Universidad Nacional del Litoral. Esperanza, Santa Fe, Argentina, 103 pp.
- Carabajal, D. E. (2015a). Disponibilidad de frío Invernal para Nogal en diferentes zonas agroecológicas de la provincia de Catamarca, Argentina. III Simposio Internacional de Nogalicultura del NOA. Santa María, Catamarca, Argentina. Disponible en: http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/2015/05/erentes-zonas-agroecologicas-de-la-provincia-de-catamarca-argentina-ing.agr_.-carabajal-dante-e.pdf. Acceso: 24/06/2018.
- Carabajal, D. E. (2015b). Nuevos cultivares de Nogal INTA. III Simposio Internacional de Nogalicultura del NOA. Santa María, Catamarca, Argentina. Disponible en: <http://cfi.org.ar/nota/ponencias-del-iii-simposio-internacional-de-nogalicultura/>. Acceso: 18/03/2018.
- Cardoso, S. L., Bergamaschi, H., Bosco, C. L., Aires de Paula, V., y Nachtigal, G. R. (2015). Unidades de frio para macieiras na região de Vacaria. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal*, 37(2): 289–295.
- Cerna-Cortés, J. F., Simpson, J., Martínez, O., y Martínez-Peniche, R. A. (2003). Measurement of genetic diversity of native pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] populations established in Central Mexico and correlation with dichogamous flowering using AFLP. *Food, Agriculture and Environment*, 1(4): 168–173.
- Chaar, J., y Astorga, D. (2012). Determinación de requerimiento de frío y calor en duraznero (*Prunus pérsica* L.), mediante un modelo de correlación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(3): 289–298.
- Champagnat, P. (1989). Rest and activity in vegetative buds of trees. *Annales des Sciences Forestieres*, 46: 9–26.
- Champagnat, P. (1983). Bud dormancy, correlation between organs, and morphogenesis in woody plants. *Soviet Plant Physiology*, 30(3): 458–471.

- Chandler, W. H. (1960). Some studies on rest in apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 76: 1–10.
- Chandler, W. H., Kimball, M. H., Phillip, G. L., Tufts, W. P., y Weldon, G. P. (1937). Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some other plants in California. *Agricultural Experimental Station Bull*, 611.
- Chariani, K., y Stebbins, R. L. (1994). Chilling requirements of Apples and Pear cultivars. *Fruit Varieties Journal*, 48(4): 215–222.
- Charrier, G., y Améglio, T. (2011). The timing of leaf fall affects cold acclimation by interactions with air temperature through water and carbohydrate contents. *Environmental and Experimental Botany*, 72: 351–357.
- Citadin, I., Raseira, M. C. B., Quezada, A. C., y Da silva, J. B. (2003). Herdabilidade da necessidade de calor para a antese e brotação em pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(1): 119–123.
- Citadin, I., Raseira, M. C. B., Herter, F.G., y Silveira, C. A. P. (2002). Avaliação da necessidade de frio em pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(3): 703–706.
- Citadin, I., Raseira, M. C. B., Herter, F. G., y Baptista Da Silva, J. (2001). Heat requirement for blooming and leafing in Peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 36(2): 305–307.
- Citadin, I. (1999). Necesidade de calor para antese e brotação em pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch]. Tesis de M.Sc., Universidad Federal de Pelotas, Pelotas, Brazil, 74 pp.
- Citadin, I., Raseira, M. C. B., y Quezada, A. C. (1998). Substrato para conservacao de ramos destacados de pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Agropecuária Clima Temperado*, 1: 55–59.
- Cittadini, M. C., Martín, D., Gallo, S., Fuente, G., Bodoira, R., Martínez, M., y Maestri, D. (2020). Evaluation of hazelnut and walnut oil chemical traits from conventional cultivars and native genetic resources in a non-traditional crop environment from Argentina. *European Food Research and Technology*, 246(4): 833–843.
- CNA. Censo Nacional Agropecuario. (2018). Instituto Nacional de estadísticas y censos. Disponible en: https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf. Acceso: 10/09/2022.

- Cólica, J. J. (2015). Áreas de producción de Nogal en Argentina y Catamarca. III Simposio Internacional de Nogalicultura del NOA. Santa María, Catamarca, Argentina. Disponible en: <http://cfi.org.ar/wpcontent/uploads/2015/05/produccion-de-nueces-en-argentina-y-catamarca-colica-juan-jose.pdf>. Acceso: 05/03/2022.
- Considine, M. J., y Considine, J. A. (2016). On the language and physiology of dormancy and quiescence in plants. *Journal of Experimental Botany*, 67(11): 3189–3203.
- Cook, N. C., Calitz, F. J., Alderman, L. A., Steyn, W. J., y Louw, E. D. (2017). Diverse patterns in dormancy progression of apple buds under variable winter conditions. *Scientia Horticulturae*, 226: 307–315.
- Cook, N., y Jacobs, G. (2000). Progression of apple (*Malus x domestica* Borkh.) bud dormancy in two mild winter climates. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75: 233–236.
- Cook, N. C., Rabe, E., Keulemans, J., y Jacobs, G. (1998). The expression of acrotony in deciduous fruit trees: a study of the apple rootstock M9. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123: 30–34.
- Couvillon, G. A. (1995). Temperature and stress effects on rest in fruit trees: A review. Department of horticulture, University of Georgia, Athens, USA. *Acta Horticulturae*, 395: 11–19.
- Crabbé, J., and Barnola, P. (1996). A new conceptual approach to bud dormancy in woody plants. In: Lang, G. A. (Ed.), *Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology*, pp. 83–114. CAB International, Wallingford, CT, USA.
- Crossa-Raynaud, P. (1956). Effects des hivers doux sur le comportement des arbres fruitiers a feuilles caduques. *Annales du Service botanique et agronomique*, 29: 1–22.
- Cruz, R. D., Carrizo, L. S., y Varela, B. R. (2016). Reestructuración agraria y cambios socioterritoriales en Capayán (Catamarca, Argentina). Eutopía: *Revista de Desarrollo Económico Territorial*, (10): 11–24.
- Damario, E. A., Pascale, A. J., y Rodríguez, R. O. (2008). Nueva fórmula para la estimación agroclimática de las horas de frío. *Revista Facultad de Agronomía*, 28(2–3): 139–144.
- Damario, A., Pascale, A. J., y Bustos, C. (1998) Método simplificado para la estimación agroclimática de “horas de frío” anuales. *Revista Facultad de*

Agronomía, 18(1–2): 93–97.

Da Mota, F. S. (1957). Os invernos de Pelotas, RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de fôlhas caducas. *Instituto Agronômico do Sul*, Boletim Técnico N° 18.

Delgado, E. A., Carabajal, D. E., y Colica, J. J., (2020). Elección varietal, calidad de planta y plantación de nogal, pecán y almendro. Seminario Opciones Tecnológicas para Optimizar la Producción de Frutos Secos, Catamarca, Argentina. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=PP_w0Yw6EPU. Acceso: 20/10/2022.

Delgado, E. A., y Carabajal, D. E. (2018). Evaluación fenológica del nogal pecan en la provincia de Catamarca. *Ciencia e investigación en zonas áridas y semiáridas*, 19(1–2): 7–15.

Del Barrio, R. A. (2020). Ruptura de dormición, brotación y floración en nogal (*Juglans regia* L.) en el valle inferior de Río Negro: necesidades de frío invernal y requerimientos de calor en un contexto de cambio climático. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, 203 pp. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5318>. Acceso: 04/01/2022.

Del Barrio, R. A., y Martin, D. M. (2011). Aptitud agroclimática del valle inferior del río negro para los cultivos de avellano y nogal. *Pilquen-Sección Agronomía*, 13(11): 1–10.

Dennis Jr., F. G. (2003). Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 38(3): 347–350.

Díaz, M. P., y Demetrio, C. G. (1998). Introducción a los Modelos Lineales Generalizados. Su aplicación en las ciencias biológicas. Editorial Screen. 105 p.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2011) *InfoStat* (versión 2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Donoso, J., Bastías, R., Lemus, G., y Silva L. (2007). Comportamiento fenológico del nogal en tres localidades de la VI región. VI Región-Chile: *INIA Rayentue*, 12: 1–8.

- El Deen, S., y El Deen, A. S. (1993). Pecan varieties in Egypt. Proceedings of the Second Pecan Subnetwork Meeting. (2-4 Nov. 1993). Tuzcu, O., y Kaplankiran, M. (Eds.), pp. 32–44.
- El Yaacoubi, A., Malagi, G., Oukabli, A., Citadin, I., Hafidi, M., Bonhomme, M., y Legave, J. M. (2016). Differentiated dynamics of bud dormancy and growth in temperate fruit trees relating to bud phenology adaptation, the case of apple and almond trees. *International journal of biometeorology*, 60(11): 1695–1710.
- Eller, A. B., y Vivas, A. M. (2015). Análisis del comportamiento de la temperatura de San Fernando del Valle de Catamarca (2000-2009). *Revista de Biología en Agronomía*, 5: 60–65.
- Eneroth, H., Wallin, S., Leander, K., Nilsson Sommar, J., y Akesson, A. (2017). Risks and Benefits of Increased Nut Consumption: Cardiovascular Health Benefits Outweigh the Burden of Carcinogenic Effects Attributed to Aflatoxin B₁ Exposure. *Nutrients*, 9(12): 1–12.
- Erez, A. (2000). Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. En: Erez, A. (Ed.), *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 17–48.
- Erez, A. (1995). Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Acta Horticulturae*, 395: 81–95.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., y Allan, P. (1990). The dynamic model for rest completion in peach buds. *Acta Horticulturae*, 276: 165–174.
- Errecart, V. B. (2015). Panorama mundial de la producción de Nueces. III Simposio Internacional de Nogalicultura del NOA. Santa María, Catamarca, Argentina. Disponible en: <http://biblioteca.cfi.org.ar/wp-content/uploads/2015/04/programa-iii-simposio-internacional-de-nogalicultura-.pdf>. Acceso: 15/05/2019.
- Espada Carbo, J. L. (2010). Necesidades de frío invernal de frutales caducifolios. Informaciones técnicas. *Centro de Trasferencia Agroalimentaria*, 224: 1–8.
- Fadón, E., Herrero, M., y Rodrigo, J. (2018). Dormant flower buds actively accumulate starch over winter in sweet cherry. *Frontiers in plant science*, 9: 1–10.
- Fadón, E., y Rodrigo, J. (2018). Unveiling winter dormancy through empirical experiments. *Environmental and Experimental Botany*, 152: 28–36.

- Fadón, E., Herrera, S., Guerrero, B. I., Guerra, M. E., y Rodrigo, J. (2020). Chilling and heat requirements of temperate stone fruit trees (*Prunus* sp.). *Agronomy*, 10(3):1–32.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). FAOSTAT statistical database. Link: <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Acceso: 05/05/2023.
- Faraçlar, E. (1988). Pikan Yetistiriciligi. Tarim ve Köyisleri Bakanligi Yayin Dairesi Baskanligi, Genel Yayin 274(9), Ankara, 80s.
- Faust, M., Erez, A., Rowland, L. J., Wang, S. Y., y Norman, H. A. (1997). Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 32(4): 623–629.
- Fenili, C. L., Gabardo, G. C., Petri, J. L., Sezerino, A. A., y De Martin, M. S. (2016). Comparação de diferentes métodos de somatória de unidades de frio na região de Caçador/SC, Brasil. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 12(1–2): 360–370.
- Fernández, E., Whitney, C., y Luedeling, E. (2020). The importance of chill model selection a multi-site analysis. *European Journal of Agronomy*, 119: 1–10.
- Fischer, G. (2013). Comportamiento de los frutales caducifolios. En: Miranda, D. (Ed.), *Los frutales caducifolios en Colombia: Situación actual, caracterización de sistemas de producción y plan de desarrollo*. Bogotá, Colombia, pp. 31–45.
- Fishman, S., Erez, A., y Couvillon, G. A. (1987a). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a two steps model involving cooperative transitions. *Journal of Theoretical Biology*, 124: 473–483.
- Fishman, S., Erez, A., y Couvillon, G. A. (1987b). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Computer simulation of process studied under controlled temperatures. *Journal of Theoretical Biology*, 126: 309–321.
- Flores, P. (2007). Requerimiento de frío en frutales efectos negativos sobre la producción de fruta. Agromensajes de la Facultad- Universidad Nacional de Rosario. Disponible en: http://biblioteca.puntoedu.edu.ar/bitstream/handle/2133/981/Requerimiento_de_frio_en_frutales.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acceso: 07/08/2019.
- Fritzsons, E., Mantovani, L. E., y Aguiar, A. V. (2008). Relação entre altitude e

temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. *Revista de Estudos Ambientais*, 10(1): 49–64.

Frusso, E. A. (2013). Influencia del nitrógeno, fósforo y cinc sobre la composición química y rendimiento de la nuez pecan y su relación con la variabilidad de nutrientes en hoja. Tesis de M.Sc. Universidad de Buenos Aires, Argentina, 179 pp.

Frusso, E. A. (2007). Características morfológicas y fenológicas del pecan. En: Lavado, S. (Ed.), *Producción de pecan en Argentina*. Agropecuaria INTA Delta del Paraná (INTA). Buenos Aires, Argentina, pp. 1–13.

Fuchigami, L. H., Hotze, M., y Weiser, C. J. (1977). The relationship of vegetative maturity to rest development and spring bud-break. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102: 450–452.

Gabino, R. M., Albornoz, A. Z., y Mesa, K. J. (2005). Evaluación fenológica del nogal en la zona central de Chile. En: Manual FIA de apoyo a la formación de recursos humanos para la innovación agraria (Ed.), *Producción de nueces de Nogal*. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas. Chile, pp. 65–72.

Gao, Z., Zhuang, W., Wang, L., Shao, J., Luo, X., Cai, B., y Z. Zhang. (2012). Evaluation of chilling and heat requirements in japanese apricot with three models. *HortScience*, 47(12): 1826–1831.

García, M. S. (2012). Disponibilidad de frío en la región centro de la provincia de Santa Fe. Tesis de Maestría en cultivos intensivos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/422> Consultado 08/12/2021. Acceso: 15/02/2022.

García, M. S., Leva, P. E., Valtorta, S. E., Gariglio, N. F., y Toffolli, O. (2011). Estimación de horas de frío para la localidad de Sauce Viejo (Santa Fe, Argentina): diferentes modelos. *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 10(1–2): 70–75.

García, M. S., Leva, P. E., Valtorta, S. E., Gariglio, N. F., y Toffolli, G. (2009). Disponibilidad de horas de frío para la localidad de Rafaela (Santa Fe, Argentina): Modelos de estimación. *Revista Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires*, 29(3): 163–168.

Gariglio, N. F., Castro, D., y Micheloud, N. (2019.) Ecofisiología: El proceso de floración (Material de clase). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Litoral.

Gariglio, N. F., Weber, M., Perreta, M., Bouzo, C., Castro, D., Martínez-Fuentes,

- A., Mesejo, C., Reig, C., y Agustí, M. (2012). Chemicals applied in fall and defoliation on dormancy evolution and release in low chill peach 'Flordaking.' *Agrociencia Uruguay*, 16(2): 49–59.
- Gariglio, N., Mendow, M., Weber, M., Favaro, M. A., González-Rossia, D., y Pilatti, R. A. (2009). Phenology and reproductive traits of peaches and nectarines in central- east Argentina. *Scientia Agricola*, 66: 757–763.
- Gariglio N. F., Pilatti, R. A., y Agustí Fonfría, M. (2008). Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. En: Sozzi, G.O. (Ed.), *Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, pp. 41–82.
- Gariglio, N. F., Gonzalez Rossia, D. E., Mendow, M., Reig, C., y Agusti, M. (2006a). Effect of artificial chilling on the depth of endodormancy and vegetative and flower budbreak of peach and nectarine cultivars using excised shoots. *Scientia Horticulturae*, 108(4): 371–377.
- Gariglio, N., Dovis, V. L., Leva, P. E., García, M. S., y Bouzo, C. A. (2006b). Acumulación de horas de frío en la zona centro - oeste de Santa Fe (Argentina) para frutales caducifolios. *Horticultura Argentina*, 25(58): 26–32.
- Garrido García, J. (2008). La interacción entre factores en el análisis de varianza: errores de interpretación. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 245 pp. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1267/16343_garrido_garcia_jesus.pdf?sequence=1. Acceso: 20/01/2021.
- Germain, E., y Lespinasse, J. M. (1999). Les estades phenologiques du noyer–INRA-CTIFL, 279 pp.
- Gholizadeh, J., Sadeghipour, H., R., Abdolzadeh, A., Hemmati, K., Hassani, D., y Vahdati, K. (2017). Redox rather than carbohydrate metabolism differentiates endodormant lateral buds in walnut cultivars with contrasting chilling requirements. *Scientia Horticulturae*, 225: 29–37.
- Gil-Albert Velarde, F. (1998). Tratado de Arboricultura Frutal II. La ecología del árbol frutal, 4ª. Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 207 p.
- Gil-Albert, F. (1989). Tratado de arboricultura frutal. Vol II: La ecología del árbol frutal. 2ª edición. Mundi-Prensa, Madrid, España. 236 p.
- Giovanni Lobos, L. (2014). Manejo de la floración del nogal bajo las condiciones de la provincia de Choapa: *INIA Intihuasi. Informativo* 44: 1–4.

- Gómez, L. A., y. Cruzate, G. A. (2007). Aptitud de los suelos argentinos para el pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]. En: Lavado, S. (Ed.), *Producción de pecan en Argentina*. Agropecuaria INTA Delta del Paraná (INTA). Buenos Aires, Argentina, pp. 1–9.
- Gonzalez Antivilo, F. A. (2018). Caracterización de la respuesta anatómica y efecto de la modulación de la temperatura sobre la resistencia al frío de *Vitis vinifera* durante la estación de dormición. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina, 203 pp. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/94975>. Acceso: 28/01/2022.
- Grageda Grageda, J., Fu Castillo, A. A., Valdez Gascón, B., Núñez Moreno, J. H., Jiménez Lagunes, A., Sabori Palma, R., y Urías García, E. (2013). El clima y la producción de nogal pecanero. En: Grageda Grageda, J., Núñez Moreno, J. H., Maldonado Navarro, L. A., Martínez Díaz, G., y Vieira de Figueiredo, F. (Ed.), *XIV Simposio Internacional de Nogal Pecanero*, pp. 57-68. La Manga, Sonora, México.
- Grassi, A. L. (2017). Nueces pecan: Ideas para la mejora de la calidad del producto en la Argentina. Tesis de M.Sc. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires, Argentina, 98 pp.
- Guerriero, R., Viti, R., Monteleone, P., y Gentili, M. (2002). La valutazione della dormienza nell'albicocco: tre metodi a confronto. *Frutticoltura*, 3: 73–77.
- Guerriero, R., Indiochine, E., y Scalabrelli, G. (1987). Evoluzione della dormienza in tre cultivar di albicocco. *Frutticoltura*, 11: 93–97.
- Guo, L., Dai, J., Ranjitkar, S., Yu, H., Xu, J., y Luedeling, E. (2014). Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *International Journal of Biometeorology*, 58: 1195–1206.
- Haguage, R., y Cummins J. N. (1991). Seasonal variation in intensity of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116: 107–115.
- Hajinia, Z., Sarikhani, S., y Vahdati, K. (2021). Exploring low-chill genotypes of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in west of Iran. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(6): 2325–2336.
- Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, R., Mahmoudi, R., Soleimani, A., y Vahdati, K. (2020). Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia Horticulturae*, 270: 1–9.
- Hassankhah, A., Vahdati, K., Rahemi, M., Hassani, D., y Sarikhani Khorami, S.

- (2017). Persian walnut phenology: effect of chilling and heat requirements on budbreak and flowering date. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(2): 259–271.
- Hedhly, A., Hormaza, J. I., y Herrero, M. (2009). Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in Plant Science*, 14: 30–36.
- Heide, O. M. (2008). Interaction of photoperiod and temperature in the control of growth and dormancy of *Prunus* species. *Scientia Horticulturae*, 115: 309–314.
- Heide, O. M., y Prestrud, A. K. (2005). Low temperatures, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiology*, 25: 109–114.
- Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P., Martínez-Sánchez, G., Albuquerque, N., Martínez, D., Barba-Espín, G., Acosta-Motos, J. R., Carrera, E., y García-Bruntón, J. (2021). Physiological and biochemical characterization of bud dormancy: Evolution of carbohydrate and antioxidant metabolisms and hormonal profile in a low chill peach variety. *Scientia Horticulturae*, 64(14): 4131–4141.
- Herrera, J. C., Mares, J. C. L., y Vázquez, C. G. (2005). Estimación de horas frío con datos altimétricos, para la región Sur de Zacatecas. *Revista de Geografía Agrícola*, (34): 23–36.
- Herter, F. G., Citadin, I., y Silveria, C. A. P. (2000). Necessidade de calor para a antese em pessegueiro avaliada pelo método de ramos destacados. *Agropecuária Clima Temperado*, 3: 253–259.
- Herter, F. G., Rageau, R., Bonhomme, M., y Mauget, J. C. (1992). Determinação do término da dormência e floração para algumas cultivares de macieira: comparação entre métodos biológicos e empíricos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 14(1): 77–81.
- Herter, F., Balandier, P., Mauget, J. C., Rageau, R., y Bonhomme, M. (1991). Conséquences des conditions climatiques durant la croissance estivale et la période de repos sur la capacité de croissance des bourgeons chez deux espèces fruitières tempérées: le pommier et le pécher. En: Edelin, C. (Ed.). *L'arbre. Biologie et Développement*. Proceedings of a Symposium, 10-15 September 1990, Montpellier, France. *Naturalia Monspelienisia*, pp. 417–431.
- Horvath, D. P., Anderson, J. V., Chao, W. S., y Foley, M. E. (2003). Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. *Trends in Plant Science*, 8: 534–

540.

- Iannamico, L. (2009). El cultivo de Nogal en clima templado frío. Material Vegetal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Alto Valle, Rio Negro, Argentina. 115 pp.
- Jacobs, J. N., Jacobs, G., y Cook, N. C. (2002). Chilling period influences the progression of bud dormancy more than does chilling temperature in apple and pear shoots. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77: 333–339.
- Jonkers, H. (1979). Bud dormancy of apple and pear in relation to the temperature during the growth period. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 10: 149– 54.
- Kovaleski, A. P. (2022). Woody species do not differ in dormancy progression: Differences in time to budbreak due to forcing and cold hardiness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(19): 1–12.
- Kurokura, T., Mimida, N., Battey, N. H., y Hytönen, T. (2013). The regulation of seasonal flowering in the Rosaceae. *Journal of experimental botany*, 64(14): 4131–4141.
- La Dochy, S., Medina, R., y Patzert, W. (2007). Recent California climate variability: spatial and temporal patterns temperature trends. *Climate Research*, 33: 159–169.
- Lam-Yam, L. (1990). Contribution à l'étude de la croissance et de la fructification du pêcher (*Prunus persica* L. Batsch) dans les conditions climatiques de type tropical de l'île de la Réunion. *Fruits*, 44(12): 669–680.
- Lang, G., Early, J., Martin, G., y Darrell, R. (1987). Endo, Para and Ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 22(3): 371–377.
- Leite, G. B., Bonhomme, M., Lacoïnte, A., Rageau, R., Lacoïnte, A., Sakr, S., Guilliot, A., Maurel, K., Petel, G., y Rodrigues, A. C. (2004). Influence of Lack of Chilling on Bud-break Patterns and Evolution of Sugar Contents in Buds and Stem Tissues along the One-year-old Shoot of the Peach Trees. *EMBRAPA Clima temperado, Acta Horticulturae*, 662: 61–71.
- Louzada, R. S. (2012). Brotação de gemas vegetativas de porta-enxertos e da cultivar packham's triumph sobre estes porta-enxertos, submetidos a diferentes horas de frio. Tesis de M.Sc. Universidade Federal de Pelotas.

Estado de Rio Grande Do Sul, Brasil, 75 pp.

- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, 144: 218–229. <https://www.sciencedirect.com/science>. Acceso: 30/09/2019.
- Luedeling, E., Zhang, M., Luedeling, V., y Girvetz, E. H. (2009). Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133: 23–31.
- Luna Lorente, F. (1990). El nogal: Producción de fruto y de madera. Madrid, España. Mundi Prensa. 80 p.
- Madero, E., y Carabajal, D. E. (2017). Posibilidades de producción de la nuez pecan en Catamarca, Argentina. *IV Simposio Internacional de Nogalicultura*. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/programa_iv_simposio_i_nogalicultur_a_catamarca2017.pdf. Acceso: 8/09/2017.
- Madero, E. R., Trabichet, F. C., Pepé, F., y Wright, E. R. (2016). Manual de manejo del huerto de nogal pecán. *Ediciones INTA*; Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná.
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). (2018). Frutos secos: Ahora, consumo todo el año. Disponible en: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/notas_revista/Frutossecos.pdf. Acceso: 03/05/2023.
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). (2019). Cadena de la Nuez (*Juglans regia* L.). Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_2019_NUEZ_NOGAL_sept_FINAL.pdf. Acceso: 10/09/2019.
- Mahmood, K., Carew, J. G., Hadley, P., y Battey, N. H. (2000). The effect of chilling and post-chilling temperatures on growth and flowering of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(5): 598–600.
- Martinelli Echenique, L. (2016). El frío invernal como recurso para los frutales de hoja caduca en el sur del Uruguay: cuantificación para el 2013 y evaluación de modelos de estimación. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad de la

República, Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay, 60 p.

- Mauget, J. C., y Rageau, R. (1988). Bud dormancy and adaptation of apple tree to mild winter climates. *Acta Horticulturae*, 232: 101–108.
- Maulión, E., Valentini, G. H., Kovalevski, L., Prunello, M., Monti, L. L., Daorden, M. E., Quaglino, M., y Cervigni, G. D. L. (2014). Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. *Scientia Horticulturae*, 177, 112-117.
- McEachern, G. R., Wolstenholme, N. B., y Storey, J. B. (1978). Chilling requirement of three pecan cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 13: 694–699.
- Melgarejo Moreno, P. (1996). El frío invernal, factor limitante para el cultivo frutal: Modelos y métodos para determinar la acumulación de frío y de calor en frutales. Ediciones A. Madrid Vicente. Madrid. España. 172 p.
- Melke, A. (2015). The physiology of chilling temperature requirements for dormancy release and bud-break in temperate fruit trees grown at mild winter tropical climate. *Journal of Plant Studies*, 4(2): 1–47.
- Michelini, M. C. (2018). Eficiencia en la intercepción de la luz en tres formas de conducción de pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]: estructura y actividad fotosintética. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70564>. Acceso: 12/05/2019.
- Mohamed, A. (2008). The effect of chilling, defoliation and hydrogen cyanamide on dormancy release, bud break and fruiting of Anna apple cultivar. *Scientia Horticulturae*, 118: 25–32.
- Monet, R., y Bastard, Y. (1971). Effets d'une température mode´re´ment e´leve´e: 25 C°, sur les bourgeons floraux du pe´cher. *Physiologie Végétale*, 9: 209–226.
- Montgomery, D. C. (1991). Experimentos factoriales. En: Montgomery, D. C (Ed.), *Diseño y Análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana, pp 345–402.
- Morais, H., y Carbonieri, J. (2015). Horas e unidades de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(1): 1–12.
- Morelli, G. A. (2014). Requerimientos ecológicos de los árboles frutales. La plata, Buenos Aires: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Disponible en: <http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/>. Acceso: 30/08/2019.

- Muncharaz Pou, M. (2001). *El Nogal. Técnicas de cultivo para la producción frutal*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España. 210 p.
- Murrieta Lagarda, A. (2009). Requerimientos de temperatura del nogal pecanero durante las estaciones de descanso y crecimiento. *X Simposio Internacional de Nogal Pecanero*. Hermosillo, Sonora, México, pp. 118–123.
- Naor, A., Flaishman, M., Stern, R., Moshe, A., y Erez, A. (2003). Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(5): 636–641.
- Norvell, D. J., y Moore, J. N. (1982). An evaluation of chilling models for estimating rest requirements of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107(1): 54–56.
- Núñez Aguilar, F. A., y Alvarez de Toledo, J. M. (2004). El riego en la Provincia de Catamarca. Disponible en: <https://docplayer.es/21225853-El-riego-en-la-provincia-de-catamarca-fausto-a-nunez-aguilar-jose-m-alvarez-de-toledo.html>. Acceso: 24/11/2021.
- Núñez Moreno, H. J, Márquez Cervantes, A., Martínez Díaz, G., y Grageda Grageda, J. (2013). Uso de reguladores de crecimiento durante la brotación del nogal. *XIV Simposio Internacional de Nogal Pecanero*. Costa de Hermosillo, Sonora, México, pp. 76–80.
- Oukabli, A., y Mekaoui, A. (2012). Dormancy of fig cultivated under Moroccan conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 3(4): 473–479. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.34056>.
- Oukabli, A., y Mahhou, A. (2007). Dormancy in sweet cherry (*Prunus avium* L.) under mediterranean climatic conditions. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 11(2): 133–139.
- Pawsut, A. Fujishige, N., Yamane, K., Yamaki, Y., y Honjo, H. (2004). Relationships between chilling and heat requirement for flowering in ornamental peaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 73: 519–523.
- Penso, G. A., Citadin, I., Scariotto, S., Santos, C. E. M. D., Junior, A. W., Bruckner, C. H., y Rodrigo, J. (2020). Development of peach flower buds under low winter chilling conditions. *Agronomy*, 10(3), 2–20.
- Pérez Luna, A. I., Martínez Díaz, G., Grageda Grageda, J., Valdez Gascón, B., y Vieira de Figueiredo, F. A. (2015). Análisis de fructibilidad de nogal

pecanero en la Costa de Hermosillo en un año bajo de acumulación de frío invernal. *XVI Simposio Internacional de Nogal Pecanero*. Costa de Hermosillo, Sonora, México, pp. 86–92.

Petri, J. L., Sezerino, A. A, Hawerth, F. J., Palladini, L. A., Leite, G. B., y De Martin, M. S. (2021). Dormência e indução à brotação de árvores frutíferas de clima temperado. Florianópolis: EPAGRI, p.153.

Petri, J. L., Palladini, L. A., y Pola, A. C. (2006). Dormência e indução da brotação da macieira. In: EPAGRI. Manual da cultura da macieira. Florianópolis.

Prativiera, A. G. (2015). Mejoramiento genético del Nogal. *III Simposio Internacional de Nogalicultura del NOA*. Disponible en: <http://cfi.org.ar/wp-content/uploads/2015/05/mejoramiento-genetico-del-cultivo-del-nogal-en-la-republica-argentina>. Acceso: 03/03/16.

Prativiera, A. G. (1983). Documento básico sobre el cultivo de Nogal. E.E.A. Catamarca INTA. 28 p.

PROSAP-UCAR. (2015). Plan de mejora competitiva Clúster de la nuez pecan. Disponible en: http://competitividaducar.net/competitividad/wp-content/uploads/2014/11/PMC-Nuez-Pecan_interactive1.pdf. Acceso: 23/04/2018.

Rageau, R. (1987). L'arbre et son milieu. 4. Exigences climatiques. En: Vidaud, J., Jacoutet, I. y J. Thivend (Eds.), *Le Pêcher: Références et Techniques*. Paris: Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, pp 62–93.

Rageau, R. (1978). Croissance et débourrement des bourgeons végétatifs de pêcher (*Prunus persica* L. Batsch). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série D - Sciences Naturelles*, 226 p.

Rahemi, M., y Pakkish, Z. (2009). Determination of chilling and heat requirements of pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars. *Agricultural Sciences in China*, 8(7): 803–807.

Ramírez, F., y Kallarackal, J. (2015). Climate change and chilling requirements. In Responses of Fruit Trees to Global Climate Change. *Springer Publication, Cham*, 31–34.

Ramos Abbadie, S., y Wlasiuk Pereira, B. (2019). Evaluación de distintos compensadores de frío en pera cv. Williams. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay, 81 p.

- Ribeiro Crosa, C. F. (2021). Dormência da noqueira-pecã [*Carya illinoensis* (Wangenh) k. koch] pelo método biológico. Tesis de M.Sc. Universidade Federal de Pelotas. Estado de Rio Grande Do Sul, Brasil, 90 pp.
- Richardson, E. A., Seely, S. D., Walker, D. R., Anderson, J. L. M., y Ashcroft, G. L. (1975). Phenoclimatography of spring peach bud development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 10: 236–237.
- Richardson, E., Seeley, S., y Walter, R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 9: 331–332.
- RNFS (Relevamiento Nacional de Frutos Secos). (2017). Consejo Federal de Frutos Secos. UNCuyo, Mendoza. Disponible en: <http://www.uncuyo.edu.ar/desarrollo/la-uncuyo-presento-los-resultados-del-relevamiento-nacional-de-frutos-secos>. Acceso 15/04/2018.
- Rodríguez Hernández, A. M., Arellano-García, M. A., Broetto Fernando, M., y Castillo-Campohermoso, A. (2015). Estudios ecofisiológicos en nogal pecanero. *XX Congreso Internacional de Plásticos en la Agricultura*. pp 225–230.
- Rodríguez, R. A., Edreira, G. E., y Blanch De Bongiovanni, N. (1983). Estudio de distintos métodos de estimación de horas de frío, y su comparación con el cómputo real de las mismas obtenidas en Córdoba. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 4: 31–40.
- Rohde, A., y Bhalerao, R. P. (2007). Plant dormancy in the perennial context. *TRENDS in Plant Science*, 12(5): 217–223.
- Roschildt Sperling, D. (2021). Disponibilidade de frio para o cultivo de espécies frutíferas na metade sul do Rio Grande do Sul. Tesis de M.Sc. Universidade Federal de Pelotas. Estado de Rio Grande Do Sul, Brasil, 69 pp.
- Ruiz, D., Campoy, J. A., y Egea, J. (2007). Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 254–263.
- SA (Secretaria de Agroindustria). (2019). Cadena de nuez pecan. Consultado 10/06/2019. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_NUEZ_PECAN_mayo_2019.pdf. Acceso: 30/08/2019.
- Samish, R. M. (1954). Dormancy in woody plants. *Annual Review of Plant*

Physiology, 5: 183–204.

Sánchez-Capuchino, J. A. (1967). Contribución al conocimiento de necesidades en frío invernal de variedades frutícolas. *Levante Agrícola*, 61, 26–28.

Sánchez-Villarreal, A. (2016). Floración en plantas tropicales y subtropicales: ¿qué tan conservados están los mecanismos que inducen y controlan la floración? *Agroproductividad*, 9(9): 50–55.

Sauzuk, E. (2020). Geografía de Catamarca. Disponible en: <https://geografiacatamarca.blogspot.com/2013/09/climas-de-catamarca.html>. Acceso: 12/09/2021.

Scalabrelli, G., y Couvillon, G. A. (1986). The effect of temperature and bud type on rest completion and the GDH requirement for bud break in 'Redhaven' peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111: 537–540.

Scorza, R., y Okie, W. R. (1990). Peaches (*Prunus persica* L. Batsch). *Acta Horticultura*, 290: 177–231.

Sebastián Palomares, J. I. (2008). Frutos secos en Cantabria: La nuez y la avellana. Centro de investigación y formación agraria. Muriedas, Cantabria, España. 121 p.

Seeley, E. (1996). Modeling climatic regulation of bud dormancy. En: Lang, G. (Ed.). *Plant Dormancy: Physiology, biochemistry and molecular biology*. CAB Int. Wallingford, Oxon, UK, pp. 361–376.

Shaltout, A. D., y Unrath, C. R. (1983). Rest completion prediction model for Starkrimson delicious apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108: 957–961.

Sharpe, R. H. (1970). Sub-tropical peaches and nectarines. *Florida State Horticultural Society*, 82: 302–306.

Sierra, E. M., López, E. R., y Pérez, S. P. (2007). Agroclimatología del pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] en la Argentina. En: Lavado, S. (Ed.). *Producción de Pecan en Argentina*. pp. 1–10. Disponible en: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Agrpeccarillar.pdf>. Acceso: 24/11/2020.

Smith, M. W., Carrol, B. I., y Cheary, B. S. (1992). Chilling Requirements of Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(5): 745–748.

- Sozzi, G. O., Gariglio, N. F., y Figueroa de Orell, M. I. (2008). Dormición en árboles frutales de hoja caduca. En: Sozzi, G. O. (Ed.). *Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, pp. 83–103.
- Sparks, D. (1993). Chilling and heating model for pecan budbreak. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(1): 29–35.
- Spiegel-Roy, P., y Alston, F. H. (1979). Chilling and post-dormant heat requirement as selection criteria for late-flowering pears. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 54: 115–120.
- Suárez Moreno, E. (2008). Biofertilización, tecnología sustentable en el cultivo de nogal. Tesis de grado Ing. Agr. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 58 p.
- Tabuenca, M. C. (1964). Necesidades de frío invernal de variedades de albaricoquero, peral y melocotonero. *En Aula Dei*, 7(3–4): 113–132.
- Tamura, F., Tanabe, K., Itai, A., y Tanaka H. (1998). Protein changes in the flower buds of Japanese pear during breaking of dormancy by chilling or high-temperature treatment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123: 532–536.
- Tao, R. (2005). Studies on the gene expression of dormant buds of Japanese apricot (*Prunus mume*). *Reports from the Second International Workshop*. 19–23 Abril 2004. Chiang Mai, Tailandia, pp. 5–12.
- Tersoglio, E., y Naranjo, G. (2010). Características de la disponibilidad de frío invernal para cerezos en la zona norte de la provincia de Mendoza, Argentina. *Agriscientia*, 27: 27–34.
- Tersoglio, E., y Naranjo, G. (2007a). Características del frío invernal de las zonas productoras de cereza de la provincia de Mendoza, Argentina. Parte I. *Información Técnica Económica Agraria*, 103 (4): 186–197.
- Tersoglio, E., y Naranjo, G. (2007b). Modelo de estimación de disponibilidad de frío invernal de áreas productoras de cerezas de Mendoza, Argentina. Parte II. *Información Técnica Económica Agraria*, 103 (4): 198–211.
- Tersoglio, E., Naranjo, G., Rivero, L., y Quiroga, M. (2006). Requerimientos de frío invernal y de calor en variedades de cerezos. *Información Técnica Económica Agraria*, 102: 251–259.
- Tominaga, A., Ito, A., Sugiura, T., y Yamane, H. (2022). How Is Global Warming Affecting Fruit Tree Blooming? “Flowering (Dormancy) Disorder” in

Japanese Pear (*Pyrus pyrifolia*) as a Case Study. *Frontiers in Plant Science*, 12: 1–17.

Vahdati, K., Aslamarz, A. A., Rahemi, M., Hassani, D., y Leslie, C. (2012). Mechanism of seed dormancy and its relationship to bud dormancy in Persian walnut. *Environmental and experimental botany*, 75:74–182.

Vita Serman, F., Sierra, E. M., Babelis, G. C., Miguel, R. E., Robles, J., Goñalons, G., y Morales, O. (2020). Estudio agroclimático en detalle para definir la aptitud frutícola (Olivo, Almendro, Pistacho, Pecán y Nogal) de los valles cordilleranos de Antinaco-Los Colorados, Bermejo y Región Este, de la provincia de La Rioja. Disponible en: <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/estudio-agroclimatico-en-detalle-para-definir-la-aptitud-fruticola-olivo-almendro-pistacho-pecan-y-nogal-de-los-valles-cordilleranos-de-antinaco-los-colorados-bermejo-y-region-este-de-la-provin/>. Acceso: 02/05/2023.

Vitasse, Y., François, C., Delpierre, N., Dufrêne, E., Kremer, A., Chuine, I. y Delzon, S. (2011). Evaluación de los efectos del cambio climático en la fenología de los árboles templados europeos. *Meteorología Agrícola y Forestal*, 151(7): 969–980.

Viti, R., Bartolini, S., y Guerriero, R. (2003). The influence of sampling from different canopy positions on the evaluation of flower bud anomalies and dormancy in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Fruits*, 58: 117–126.

Wang, F., Zhang, R., Lin, J., Zheng, J., Hänninen, H., y Wu, J. (2022). High autumn temperatures increase the depth of bud dormancy in the subtropical *Torreya grandis* and *Carya illinoensis* and delay leaf senescence in the deciduous *Carya*. *Trees*, 36(3): 1053–1065.

Weimberger, J. H. (1954). Effect of high temperature during the breaking of the rest of 'Sullivan Elberta' peach buds. *Proceeding of the American Society of Horticultural Science*, 63: 157–164.

Weinberger, J. H. (1950). Chilling requirements of peach varieties. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 56: 122–128.

Westergaard, L., y Eriksen, E. N. (1997). Autumn temperature affects the induction of dormancy in first-year seedlings of *Acer platanoides* L. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12: 11–16.

Williams, R. R., Edwards, G. R., y Coombe, B. G. (1978). Determination of the pattern of winter dormancy in lateral buds of apples. *Annals of Botany*, 44: 575–581.

- Yoshikawa, E. R., Petri, J. L., y Sezerino, A. A. (2018). Comparison of chilling units and hours for apple production in Brazil and in Japan. *Revista Eletrônica Científica Da UERGS*, 4(1): 91–106.
- Zeman, E., Agüero, S., Abbás Silman, M., del Pino, F., y Castillo, E. (2017). Variabilidad de las temperaturas mínimas ante un escenario de cambio climático en el pedemonte tucumano. Catamarca- Argentina. *Workshop Ecofisiología y Cambio Climático: La Ecofisiología de cultivos del NOA en un escenario de cambio climático*. Disponible en: <https://inta.gob.ar/noticias/tecnicos-de-inta-famailla-y-leales-participaron-del-i-workshop-de-ecofisiologia-y-cambio-climatico>. Acceso: 30/11/2019.
- Zguigal, A., Chabar, A., Walali-Loudiyi, D. E., y Crabbe. J. (2006). Caractéristiques de la dormance des bourgeons du pommier dans les régions à hiver doux. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 10: 131–137.

ANEXOS

Anexo I: Fichas varietales de las variedades de nogal utilizadas en esta tesis.

TROMPITO INTA

Origen: obtenida en 1982, a partir del cruzamiento de lompoc x UC 56-224, iniciado en Davis, California. Propagada por primera vez en 1983, en la finca del Sr. Arnoldo Saadi, en Concepción, Departamento Capayán.

Árbol: De poco vigor, porte Semierecto, extremadamente precoz para la entrada en producción, característica esta que contribuye a reducir el tamaño de la planta. Rama del año de color marrón claro. De fructificación lateral superior al 90 %. Muy productiva.

Fruto: nueces muy grandes con buen sellado. Forma de la nuez, ovalado ancho a nivel de la sutura y trapezoidal en vista perpendicular a la sutura. La superficie de la cascara es ligeramente acanalada, casi lisa, de aspecto lustroso y



de alta resistencia. Pepitas de tamaño muy grande. Rendimiento al descascarado del 53 %; pulpa de aspecto muy claro (tenue ambar rosado) en el 100 % de las nueces. Característica distintiva es que se puede sustentar sobre su base. Para maximizar la polinización conviene intercalar cultivares con oferta de polen de Chandler, Yaco Tula INTA, Mayeette o Franquette.

Características agronómicas: De brotación y floración temprana. Es parcialmente protandrica. Maduración de temprana a media. Muy precoz para entrada en producción permitiendo mayores densidades de plantas por hectáreas. Presenta altos rendimientos, evaluados entre 800 a 1800 m.s.n.m. la nuez presenta buen desprendimiento del pelón, pudiendo permanecer en el suelo varios días sin deteriorarse conservando el color limpio de cascara. Por su carácter lateral y bajo vigor, la poda anual a la menos bianual resulta imprescindible de manera de generar los brotes vigorosos que serán los futuros cargadores. Produce 2 yemas mixtas por nudo, sobre todo en condiciones de buena fertilidad y poda. La segunda yema brota en caso de la que la yema principal resulte afectada por heladas tardías y de haber polen disponible, por ser yemas mixtas cuajan en fruto. Es la variedad de mayor demanda en nuevas plantaciones y en noredales en proceso de reconversión varietal en zonas.....de.....baja..... altitud.

Fuente: Cartilla Técnica INTA Catamarca: Variedades de nogal (Prataviera *et al.*, 2015) y Caracterización morfológica, fenológica y productiva de cinco nuevas variedades de Nogal (*Juglans regia* L.) obtenidas por la E.E.A. Catamarca INTA (Carabajal, 2016).

CHANDLER

Origen: variedad de origen californiano, obtenida en la universidad de California, Davis, como producto de cruzamiento hecho en 1963 por Serr y Forde con las variedades Pedro y 56-224.

Árbol: De vigor medio, porte, porte semi-abierto a semi-erecto. Rama del año de color marrón verde. Fructificación: lateral, con 80 % de yemas fructíferas laterales.

Fruto: Tamaño de nueces medio, con buen sellado. Forma de la nuez, elíptico-ovalado. La superficie de la cascara es moderadamente acanalada. Pepitas de



tamaño medio. Rendimiento al descascarado del 49 %; Pulpa o mariposa: color: extra-claro en el 100 % de su producción. Cascara de color claro, suave y finamente surcado y atractivo. La dureza es escasa por lo que presenta algunos

problemas por roturas en la cadena de venta en cascara. Ese defecto se transforma en ventaja por su buen comportamiento al descascarado. Buen sellado.

Características agronómicas: De brotación y floración media. Es protandrica. Época de maduración media. Es la variedad más plantada en el mundo, en razón de su alta productividad y excelente calidad de la nuez, tanto en cascara como pelada. Se adapta bien a plantaciones de mediana a altas densidad y con sistema de vaso y eje central. Deben extremarse los cuidados de manejo de agua y fertilización para evitar daños por heladas otoñales en sus brotes.

Fuente: Cartilla Técnica INTA Catamarca: Variedades de nogal (Prataviera *et al.*, 2015); El Nogal (Muncharaz Pou, 2001). Foto extraída de Caracterización morfológica, fenológica y productiva de cinco nuevas variedades de Nogal (*Juglans regia* L.) obtenidas por la E.E.A. Catamarca INTA (Carabajal, 2016).

Anexo II: Fichas varietales de las variedades de pecan utilizadas en esta tesis.

PAWNEE

Origen: Variedad obtenida por el cruce de 'Mohawk' x 'Starking Hardy Giant', hecho en Brownwood, Texas, en 1963.

Fruto: Tamaño medio a grande (10 gr/nuez). El porcentaje de almendra está por encima del 50 %. Nuez: Forma en vista ventral y lateral: oblongo elíptica;



Forma de la base: obtusa;
Forma del ápice: agudo;
Forma en sección transversal: circular; Intensidad del color castaño de fondo: entre claro y medio. Área cubierta con manchas: entre pequeña y media. Semilla (parte comestible): Tamaño: media; Intensidad del color castaño: claro; Adherencia a la cáscara: media.

Características agronómicas: Es protandra. Gran tamaño de nuez combinado con una maduración bien temprana. La fecha promedio de cosecha es de al menos 2 semanas más temprano que 'Stuart'. Es un cultivar de buenos rendimientos, aunque no es demasiado precoz. Tiene tendencia a la producción alternada pero la calidad de la almendra no declina. La maduración de los árboles probablemente beneficie el sacudido mecánico de exceso de producción especialmente si los árboles están muy cargados. Resistente a pulgones. Alta susceptibilidad a sarna de pecan.

Fuente: Variedades de Pecan: Pawnee (Madero y Frusso, 2013); Foto extraída de Cultivares de pecan (<https://pecanbreeding.uga.edu/cultivars/alphabetical-list/pawnee.html>)

STUART

Origen: Originado a partir de una semilla plantada en 1874 por JR Lassabe en Pascagoula a partir de semilla obtenida en Mobile, Ala. La propiedad fue comprada por el Capitán E. Castanera y seleccionó una plántula que originalmente se conocía como 'Castanera'. Este árbol fue luego propagado por el coronel Stuart y ofrecido comercialmente en 1892 como 'Stuart'.

Fruto: tamaño medio. El porcentaje de almendra del 43 %. Nuez: Forma en



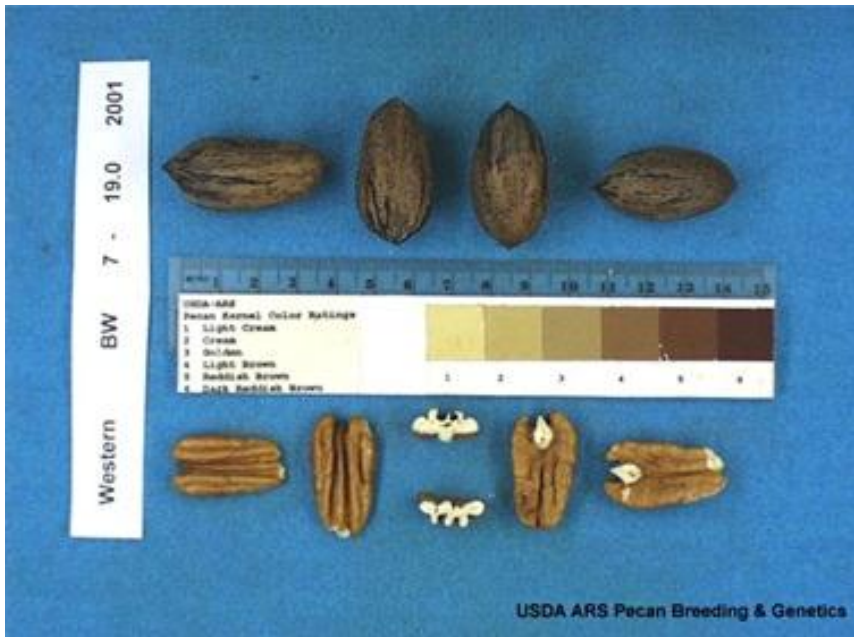
vista lateral y ventral: oblongo elíptica; Forma de la base: redondeada; Forma del ápice: agudo; Forma en sección transversal: circular; Intensidad del color castaño de la cáscara: medio; Área cubierta con manchas: grande. Intensidad del color castaño de fondo: entre claro y medio; Adherencia a la cáscara: media.

Características agronómicas: Es protógina. De maduración tardía. Carece de precocidad. Resistente a la sarna del pecan y si bien comienza a producir tardíamente, presenta elevados rendimientos a lo largo de su ciclo productivo.

WESTERN SCHLEY

Origen: 'Western Schley' fue una plántula descubierta en San Saba, Tx. en 1895.

Fruto: tamaño pequeño. El porcentaje de almendra del 53 %. Nuez: Forma en



vista ventral y lateral: oblongo elíptica; Forma de la base: caudada; Forma del ápice: agudo; Forma en sección transversal: circular; Intensidad del color castaño de fondo: medio a

oscuro; Área cubierta con manchas: media. Semilla (parte comestible): Tamaño: pequeña a media; Intensidad del color castaño: medio a oscuro; Adherencia a la cáscara: media a fuerte.

Características agronómicas: Es protandrica. Época de maduración de media a tardía. Es un cultivar susceptible a sarna. Es un árbol rústico que resiste vientos y daños por frío. 'Western Schley' produce una nuez pequeña de alta calidad. Es un cultivar moderadamente precoz que presenta baja alternancia.

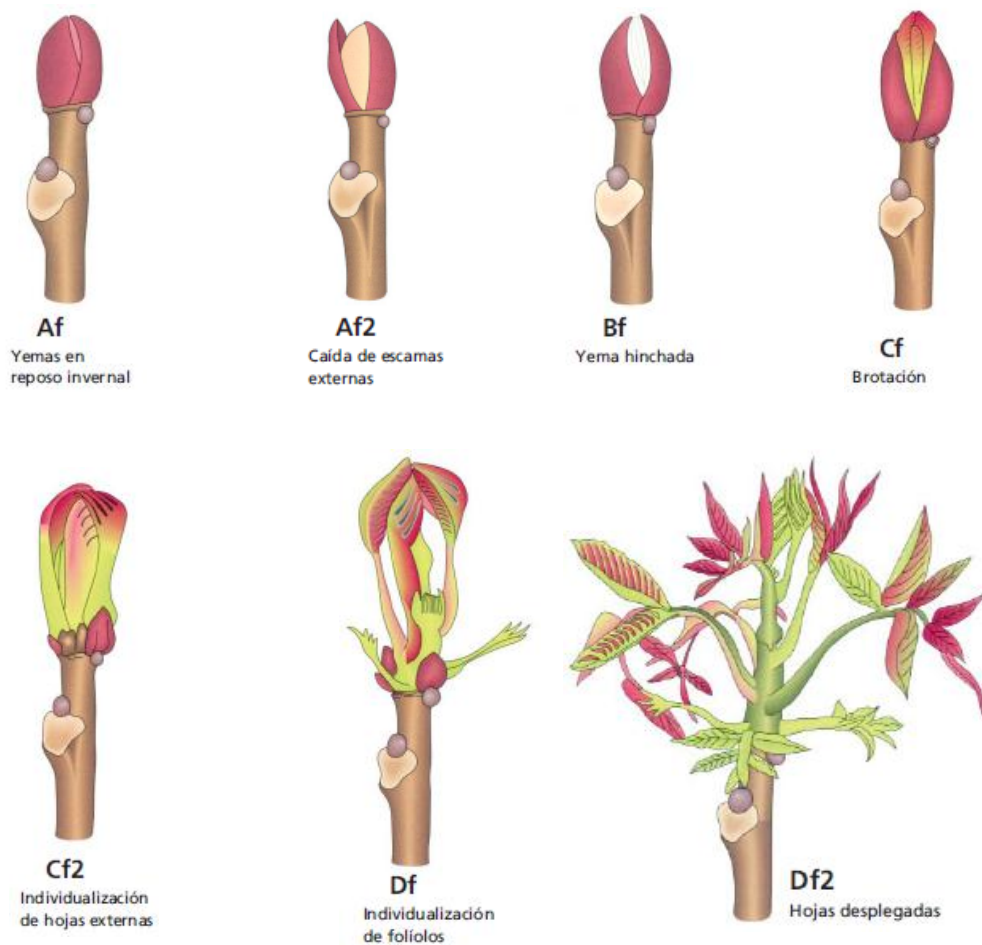
Anexo III: Acondicionamiento húmedo de varetas para evitar el daño por deshidratación que puede ocasionar el frío de la cámara



Anexo IV: Varetas de diferentes cultivares de nogal y pecan con sus extremos basales en recipiente de plástico de 500 cc, que contenía agua destilada y una solución de sacarosa al 5 %.



Anexo V: Los estados fenológicos del nogal



Fuente: Le Germain y Lespinasse (1999)

Anexo VI: Los estados fenológicos del pecan

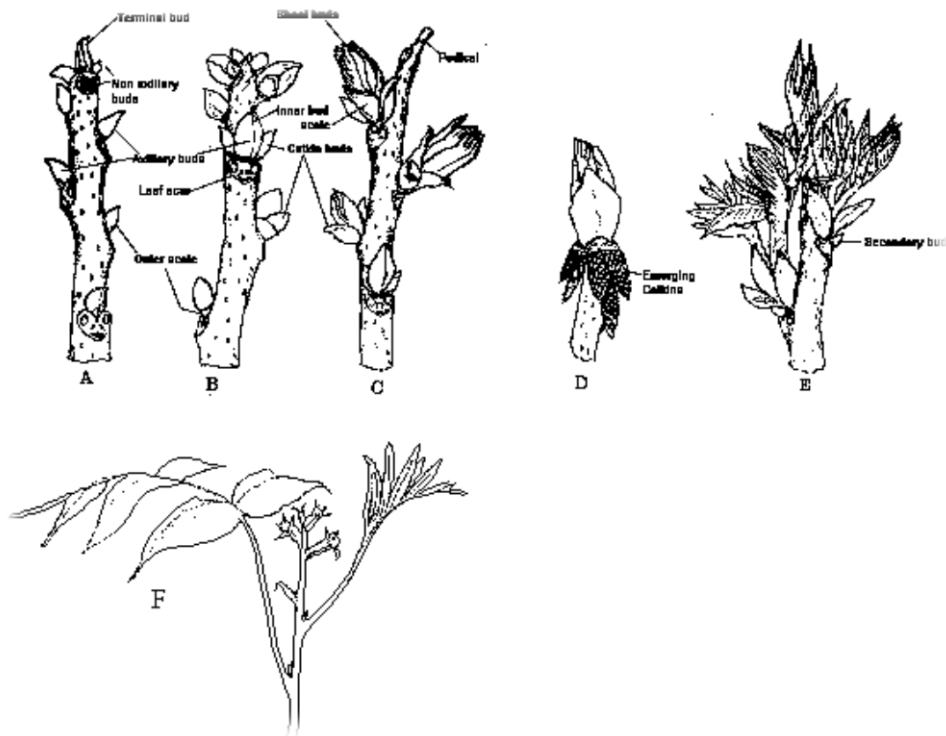


Fig. 1: Etapas de desarrollo vegetativo

A: estado de yema dormida. Las ramas de pecan presentan en cada nudo yemas primarias secundarias, terciarias y cuaternarias de arriba hacia abajo, siendo las yemas más prominentes las primarias.

B: estado de yema rajada partida interior. Las escamas internas de la yema se abren, permitiendo la posterior emergencia de los folíolos.

C, D y E: Hojas expandiendo. Los folíolos emergen, pero los bordes están unidos (fig. 4).

F: Folíolos expandiendo. Los folíolos presentan los bordes separados, continuando su crecimiento hasta alcanzar el tamaño definitivo de la hoja.

Etapa de desarrollo vegetativo

Esta etapa está compuesta por los siguientes estados (Fig. 1)

- V 1. Yema dormida. Fig. 2.
- V 2. Yema hinchada
- V 3. Yema rajada partida exterior. Fig. 3.
- V 4. Yema rajada partida interior. Fig. 1B.
- V 5. Hojas expandiendo": Fig. 4.
- V6. Foliolos expandiendo": Fig. 5



Fig. 2. Yema dormida



Fig. 3. Yema rajada partida



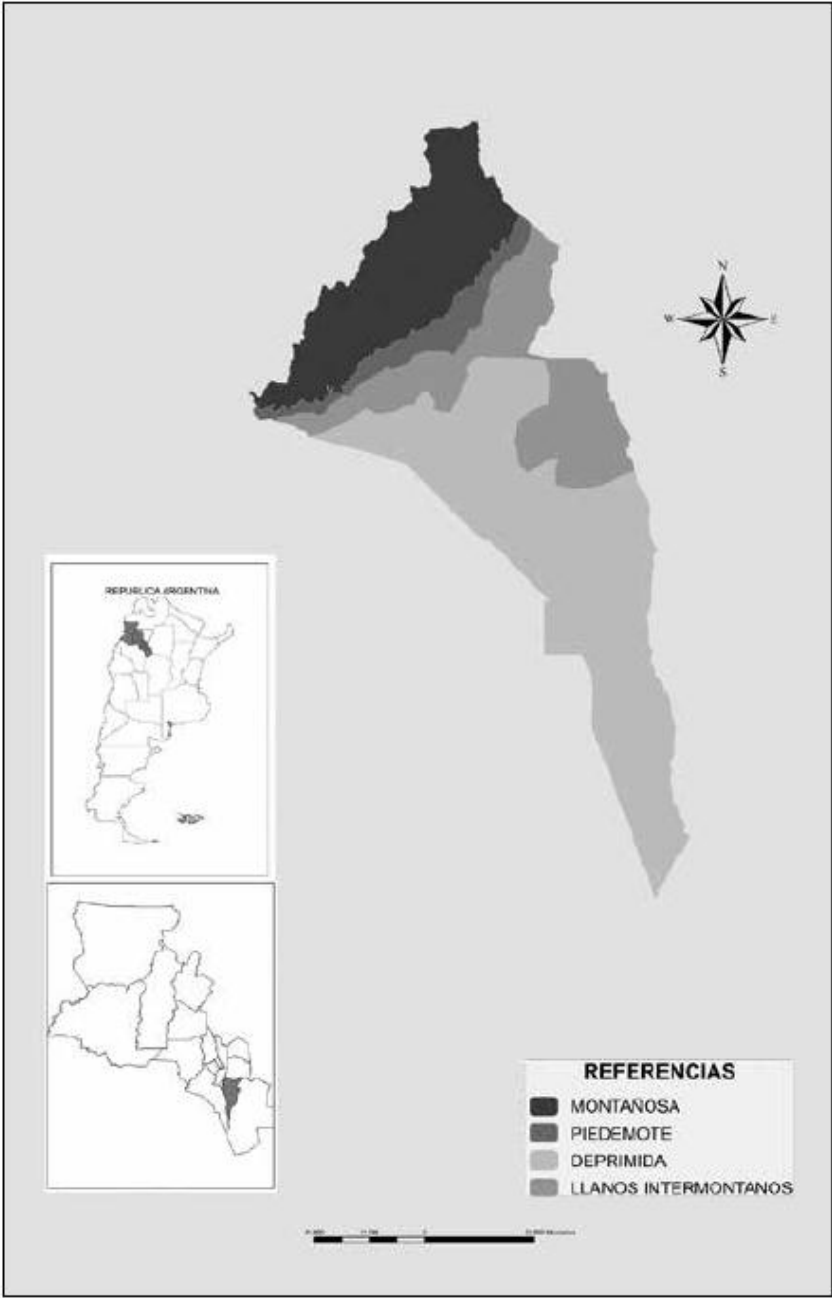
Fig. 4. Expansión de hojas



Fig. 5. Expansión de folíolos

Fuente: Frusso (2007).

Anexo VII: Áreas de ocupación del suelo del departamento Capayán.



Fuente: Cruz *et al.* (2016).