



Río Negro
Universidad Nacional

Ingeniería Agronómica

TRABAJO FINAL DE CARRERA

FENOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL PECAN [CARYA ILLINOINENSIS (WANGENH.) C.KOCH] EN EL VALLE INFERIOR DEL RIO NEGRO

NADIA GUADALUPE MOLINA CARRIZO

VIEDMA, RÍO NEGRO

2024

DIRECTOR: ING. AGR. (DR.) RICARDO A. DEL BARRIO

CO-DIRECTOR: ING. AGR. GASTÓN E. FUENTE

INDICE GENERAL

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	11
1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y TAXONÓMICAS DEL PECÁN.....	11
1.2. REQUERIMIENTOS DEL PECÁN	12
1.2.1. Temperatura y agua.....	12
1.2.2. Suelo	13
1.2.3. Nutrientes	13
1.3. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DE LA ARGENTINA PARA EL CULTIVO DE PECAN	14
1.4. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO ...	15
1.5. FENOLOGÍA DEL PECÁN	16
1.5.1 COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO DE LAS DIFERENTES VARIEDADES DE PECÁN.	17
‘Colby’	18
‘Giles’	18
‘Kanza’	19
‘Kernodle’	19
‘Kiowa’	19
‘Pawnee’	19
‘Oconee’	20
‘Osage’	20
‘Starking’	20
‘Stuart’	20
‘Success’	21
1.5.2. PERÍODOS DE LIBERACIÓN DE POLEN Y RECEPTIVIDAD ESTIGMÁTICA.....	21
1.6. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA NUEZ PECÁN	22
1.7. SITUACIÓN MUNDIAL.....	23
1.8. SITUACIÓN NACIONAL DE NUEZ PECÁN	24

HIPÓTESIS GENERAL	26
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
Área de estudio.....	27
Sitio Experimental.....	27
Diseño del ensayo	29
2.1. FENOLOGÍA Y FENOMETRÍA.....	29
Desarrollo vegetativo.....	29
Floración masculina.....	30
Floración femenina.....	30
Frutos cuajados.....	31
Crecimiento de los frutos.....	31
Madurez fisiológica	31
Etapa de senescencia (S1) y (S2).....	32
2.2. NECESIDADES DE FRÍO PARA BROTACIÓN Y REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA FLORACIÓN	32
2.3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL DEL FRUTO	33
2.3.1. Rendimiento por planta.....	33
2.3.2. Calidad comercial del fruto	33
3. RESULTADOS	35
3.1. FENOLOGÍA Y FENOMETRÍA.....	35
3.1.1. Desarrollo vegetativo	35
3.1.2. Desarrollo reproductivo.....	36
d. Dicogamia	38
3.1.2. Frutos cuajados.....	41
3.1.3. Crecimiento del fruto.....	42
3.1.4. Madurez fisiológica	43
3.1.5. Senescencia y caída de hojas	44

3.2. NECESIDADES DE FRÍO PARA BROTAÇÃO Y REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA FLORACIÓN	45
3.3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL DE LA FRUTA.....	46
3.3.1. Rendimiento por planta.	46
3.3.2. Calidad comercial del fruto	47
4. DISCUSION	48
4.1.1.1. Desarrollo vegetativo	48
4.1.2. Desarrollo reproductivo.....	49
a. Inicio de floración masculina y elongación de amentos (IFM Y EA).....	49
b. Liberación de polen (LP).....	50
a. Dicogamia: liberación de polen y receptividad de estigma.....	51
4.1.3. Crecimiento de los frutos	52
4.1.4. Madurez fisiológica	53
4.1.5. Senescencia: Amarilleo del follaje (S1) y Caída foliar (S2)	53
4.2. Necesidades de frío para brotación y requerimientos de calor para floración	55
4.3. Comportamiento productivo y determinación de la calidad comercial	55
6. BIBLIOGRAFÍA	58
7. ANEXOS	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Climograma del Valle Inferior del río Negro. Temperatura media en °C y precipitaciones en mm históricas. Fuente: Elaboración propia basada en la serie histórica 1965-2021. Musi Saluj (2022).	15
Figura 2. A: Oferta global de nuez pecán. B: Evolución de la producción mundial de nuez pecán sin cáscara 2010-2021. Fuente: Elaboración propia adaptado de datos obtenidos en International Nut & Dried Fruit (INC) 2020-2021.	24
Figura 3. Imágenes satelitales 1) Ubicación del VIRN en la Provincia de Río Negro. 2) VIRN. 3) Ubicación de la EEA Valle Inferior donde se encuentra el sitio experimental. Fuente: Google Earth (2023)	27
Figura 4. Sitio experimental, parcela de pecán en la EEAIVI. Fuente: Google Earth (2023).	28
Figura 5. Etapa R11, rajado de cáscara. Fuente: Elaboración propia (2022).	31
Figura 6. Comienzo de amarillamiento (S1) en hojas de árboles de Pecán en el VIRN. Fuente: Elaboración propia (2022).	32
Figura 7. cosecha de pecán. Fuente: elaboración propia.	33
Figura 8. Período de elongación de amentos de 19 variedades de pecán en el VIRN en el año 2021.	36
Figura 9. Período de liberación de polen (R2) de 17 variedades de pecán en el VIRN en el año 2021.	37
Figura 10. Floración femenina: inicio y receptividad de la flor, fecha de inicio y fin de receptividad. (2021)	38
Figura 11. Período de liberación de polen y receptividad estigmática de variedades de pecán en el Valle Inferior del río Negro. Año 2021.	39
Figura 12. Evolución del crecimiento de frutos en seis variedades de pecán: ‘Pawnee’, ‘Kernodle’, Harris Super’, ‘Starking’, ‘Stuart’ y ‘Success’ (Años: 2021-2022).	42
Figura 13. Rendimientos promedio por plantas de 17 variedades de pecán en el VIRN. Año: 2022.	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variedades de pecán bajo estudio en el VIRN, año de plantación y número de individuos (N).....	28
Tabla 2. Fecha media de brotación del pecán para distintas variedades registradas en el 2021, en el valle inferior de Río Negro.	35
Tabla 3. Sincronización de liberación de polen y flores receptoras.....	40
Tabla 4. Fecha media de frutos cuajados (FC) en pecán para distintas variedades registradas en el 2021, en el Valle Inferior de río Negro. Desvío estándar (días).	41
Tabla 5. Fecha promedio de madurez fisiológica de dieciséis variedades de pecán en el Valle inferior del Río Negro. Año 2022.	43
Tabla 6. Fecha promedio de senescencia y caída de hojas en variedades de pecán en el VIRN. Año 2022.	44
Tabla 7. Fechas medias de brotación y necesidades de frío de 6 variedades de pecán para el año 2021.	45
Tabla 8. Fecha de inicio de floración femenina (IFF), y acumulación de calor para 6 variedades de pecán. Año de estudio 2021.	45
Tabla 9. Fecha de inicio de floración masculina (IFM), y acumulación de calor para 6 variedades de pecán. Año de estudio 2021.	46
Tabla 10. Número de nueces por kilogramo, porcentaje de humedad del fruto y rendimiento al descascarado de 17 variedades de pecán en el VIRN. Temporada 2021-2022.	47

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Fotografías de pecán A) Floración masculina: amentos de la variedad ‘Harris Super’. B) Floración femenina de la variedad ‘Major’ C) Rama en brotación de ‘Kernodle’ D) Floración femenina de ‘Kiowa’. Fuente: Fuente (2021)	65
ANEXO II. Mapa de clases de aptitud de los suelos. Fuente (Gómez & Cruzate, 2007).	65
ANEXO III. Mapa agroclimático del pecán. Fuente: Sierra et al. (2007)	66
ANEXO IV. índice de aptitud climático para Pecán. Fuente: Conti et al. (2008).	66
ANEXO V. Desarrollo vegetativo, inicio y fin de senescencia, inicio y caída de hojas. Elaboración propia basado en datos de: Delgado & Carabajal (2018).	67
ANEXO VI. Variedades de nuez pecán según adaptación a distintas regiones en Estados Unidos, y su comportamiento en la polinización. Fuente: Elaboración propia basada en datos de Monte Nesbitt (2013).	67
ANEXO VII. Frutos y almendras correspondientes a once variedades de pecán. Fuente: Wells & Conner (2009). ‘Success’ y ‘Osage’ (elaboración propia, 2022).	68
ANEXO VIII. Tabla resumen para variedades de pecán. Frutos cuajados (FC), madurez fisiológica (MF), amarilleo del follaje (AF), caída de hojas (CH), recuperación de reservas en días (desde FC a CH).	68

RESUMEN

El pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] es un árbol perteneciente a la familia de las juglandáceas, es originario de Estados Unidos y México. La nuez pecán es un fruto seco que aporta gran cantidad de nutrientes a la dieta y contribuye a una alimentación saludable. En Argentina, la producción de pecán se concentra mayormente en la zona del litoral, por ser una zona óptima para su desarrollo, desde el punto de vista térmico e hídrico, mientras que la zona del VIRN se clasifica como zona marginal con riego obligatorio. En este sentido la EEAVI-INTA en los años 2008, 2009 y 2011, implantó una colección de 19 variedades de pecán para su evaluación.

El objetivo del presente trabajo es aportar información sobre el comportamiento fenológico, fenométrico y productivo de 19 variedades de pecán en las condiciones agroecológicas del VIRN para el ciclo productivo 2021-2022.

El diseño experimental fue completamente aleatorizado y cada árbol se tomó como unidad experimental. La metodología de investigación utilizada fue descriptiva, donde se trabajaron tres ejes principales: fenología y fenometría, requerimientos de horas de frío y calor para brotación y floración, y rendimiento y calidad industrial de los frutos. En cada unidad se seleccionaron 4 ramas, una en cada punto cardinal, en las cuales se realizaron las observaciones fenológicas y mediciones de crecimiento de los frutos. Se determinaron los requerimientos de frío y de calor para 6 de las 19 variedades de pecán: 'Harris Super', 'Pawnee', 'Starking', 'Stuart', 'Kernodle' y 'Success'. Las necesidades de frío se cuantificaron mediante tres modelos de acumulación: horas de frío (HF), unidades de frío de Utah (UF) y porciones de frío del modelo dinámico (MD). En cuanto a los requerimientos de calor se calcularon mediante la suma de temperaturas horarias acumuladas en grados de crecimiento desde el 01 agosto del 2021 hasta las fechas de inicio de floración femenina y masculina para cada variedad. Para determinar el rendimiento por planta se recolectó la totalidad de frutos por repetición. La calidad industrial se determinó a partir de una muestra de 25 frutos por repetición.

Los resultados obtenidos para fenología mostraron una plasticidad en la brotación de las distintas variedades. En cuanto a la floración la mayoría completó su ciclo productivo, a excepción de 'Lugas' que no presentó liberación de polen (R2) y 'Giles' que no presentó receptividad de estigma (R3). Los requerimientos de frío para brotación y de calor para floración se vieron satisfechos. A partir de los datos obtenidos de la cosecha se pudo determinar los rendimientos de 17 variedades de pecán, los mismos se

expresaron en kg planta^{-1} . La variedad que más rendimiento mostró fue 'Major', con $4,52 \text{ kg planta}^{-1}$, mientras que la de menor, fue 'Kanza', con $0,115 \text{ kg planta}^{-1}$. En cuanto a calidad industrial, el porcentaje de humedad del fruto fue variable según la variedad, los valores más altos fueron los de 'Stuart' con un 9,33%, y más bajos en 'Desirable', con una humedad de 1,44%. El rendimiento al descascarado fue mayor para la variedad 'Colby' con un 58,47%, mientras que el menor valor fue el de la variedad 'Desirable' con 34,57%.

Este estudio brinda las bases iniciales de parámetros fenológicos de las distintas variedades de pecán bajo las condiciones agroclimáticas del VIRN. Sin embargo, es necesario continuar con la evaluación y seguimiento de los distintos parámetros analizados, debido a posibles variaciones interanuales del pecán, para poder obtener un manejo local de la plantación más ajustado a la zona.

Palabras Clave: *Horas de frío; Brotación; Floración; Dicogamia; Rendimiento; Calidad; Polinización; Senescencia.*

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y TAXONÓMICAS DEL PECÁN

El pecán, [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], es un árbol de la familia de las Juglandáceas y del orden Fagales. Tiene origen en la región centro sur, sureste de los Estados Unidos, valles del norte y centro de México (Sierra *et al.*, 1990). Es un árbol longevo, caducifolio, rústico con adaptación a diversos tipos de suelos. Alcanza una altura de 30 metros, puede vivir más de 100 años y, en su adultez, produce alrededor de 100 kg de nueces por planta (Delgado & Carabajal, 2018). Su tronco es recto, con su corteza grisácea lisa en plantas jóvenes, mientras que en adultos se agrieta. Sus yemas terminales de forma oblongas miden aproximadamente 6-12 mm y son más grandes que las axilares; presentan color castaño amarillento, con escamas valvadas (Hurrell, *et al.*, 2011).

Las hojas del pecán son compuestas, estipuladas, alternas e imparipinnadas. Posee de 11-17 folíolos de forma oblongo-lanceolada, de 25-35 cm de longitud, con pecíolos de 4-8 cm. Su floración es diclino monoica con dicogamia, por lo que las flores masculinas y femeninas se encuentran separadas dentro de un mismo pie y, además, no alcanzan la madurez al mismo tiempo (Hurrell, *et al.*, 2011; Borda *et al.*, 2020).

La floración masculina se compone por 3 amentos de 8 a 18 cm (Anexo I-A), son de color verde amarillento y se encuentran en la parte apical de las ramas de un año. Cada amento posee 72-123 flores formadas por 3-7 estambres con anteras oblongas escasamente pilosas que contienen los sacos polínicos los cuales presentan dehiscencia longitudinal (Frusso, 2007). La inflorescencia femenina es tipo racimo (Anexo I-B y D), está compuesta por flores sésiles y un estigma que sirve para identificar variedades según su forma y color; el número va de 3 a 10 flores. El ovario es ínfero, presentan estigma bifido sobre un disco estigmático rodeado de tres bractéolas y una bráctea, adnatas al ovario (Frusso, 2007).

La polinización del pecán es anemófila, la humedad relativa del ambiente en época de polinización no puede ser inferior al 50% ni superior al 80%, porque estas condiciones dificultan la liberación del polen y ocasiona menor producción (Zoppolo *et al.*, 2016). Hay variedades donde madura antes la flor masculina (protandria) y en otros casos madura primero la flor femenina (protoginia). Por lo que se recomienda combinar variedades en un mismo monte para que se produzca una buena polinización y se eviten pérdidas de cosecha (Wood, 2000; Fasiolo, 2016).

Su fruto es una drupa, oblongo-elipsoide de 3-5 cm de longitud y 1,5-3 cm de calibre. El involucro (epicarpio y mesocarpio) es carnoso, con suturas aladas y dehiscente. La cáscara proviene de la bráctea y las bractéolas (endocarpio). Es lisa y delgada color castaño con manchas negras, de 3-4 mm de grosor. La parte comestible es el embrión, de forma “cerebroide”, castaño rojizo (Frusso, 2007; Hurrell *et al.*, 2011).

La nuez pecán es una importante fuente de vitaminas y minerales, sobre todo vitamina E, ácido fólico, calcio, magnesio, fósforo, potasio, vitamina B y zinc. También posee elevada concentración de ácidos grasos, 58,1-68,18 g de aceite por cada 100 g de nuez, con 93% ácidos insaturados. Además, contiene tocoferol y polifenoles beneficiosos para la salud (Descalzo *et al.*, 2021).

1.2. REQUERIMIENTOS DEL PECÁN

1.2.1. Temperatura y agua

En verano requiere temperaturas medias superiores a 23°C (Manaster, 1994; citado en Conti *et al.*, 2008), y para brotación alrededor de 300-600 horas de frío (Delgado & Carabajal, 2018). Sumado a esas horas de frío invernales, a fin de dicha estación y principios de primavera, requiere acumulación de calor en forma de sumas térmicas, grados día⁻¹ o grados de crecimiento horario, para que haya una buena floración-fructificación; y en el verano, las altas temperaturas van a favorecer la formación del fruto (Giuffré *et al.*, 2011). El período libre de heladas debe ser de 150-210 días desde el cuaje de los frutos hasta su madurez (Lemus, 2004), sin embargo, Mitrovich *et al.* (2019), mencionan que el período libre de heladas debe ser de 240 hasta los 280 días.

En cuanto a requerimientos hídricos, la necesidad de precipitaciones va de 750 a 2000 mm como máximo en el año y son necesarias 500 mm durante la estación de crecimiento (Godoy, 2000; Sierra *et al.*, 2007). El déficit hídrico puede afectar negativamente todas las etapas fenológicas. En la floración el efecto provoca que los amentos no lleguen a la madurez o directamente que el tubo polínico no germine al llegar a la flor femenina. Ha habido registros en donde se reduce el porcentaje de frutos que cuajan debido a la falta de agua, así como se ve afectado el crecimiento de los frutos y el llenado, obteniéndose rendimientos disminuidos (Madero *et al.*, 2016).

El comportamiento del árbol de pecán en las regiones estadounidenses de clima seco, se manifiesta a través de un crecimiento lento y presenta copas más compactas, a diferencia de aquellos que crecen en climas húmedos, donde sus copas son abiertas. El

viento puede afectar el cultivo, ciertas variedades son susceptibles a roturas de las ramas, sobre todo aquellas que no han sido bien conducidas (Takata & Varela, 2013).

En cuanto a la heliofanía, los pecanes son árboles con una eficiencia de conversión energética baja, necesitan valores de radiación que rondan los $1500 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para poder tener una buena actividad fotosintética (Sandoval Reyes *et al.*, 2010).

1.2.2. Suelo

El árbol de pecán necesita suelos de profundidad mayores a 1 m. En cuanto a la textura, prefiere aquellos de clases texturales óptimas, franca a franco limosa, pero como mencionan Delgado & Carabajal (2018), es una especie que se puede adaptar a diversos suelos. Lemus (2004), recomienda que los suelos con napas freáticas altas no sean utilizados en una plantación de pecán, y tampoco suelos con elevados contenidos de arcilla.

En cuanto a características químicas del suelo, el pH óptimo es de 5-8. La alcalinidad sódica debe ser menor al 15% de sodio y no presentar salinidad o que, al menos, la concentración de sales sea de 2 a 3 dSm^{-1} cuando el sodio (Na^+) es el catión dominante (Miyamoto & Monte Nesbitt, 2011). Según Medina *et al.* (1999), la alcalinidad del suelo provoca déficit de micronutrientes esenciales para el crecimiento del pecán, como lo son el manganeso (Mn), cobre (Cu) y el zinc (Zn). El drenaje debe ser de bueno a moderadamente drenado y la zona de implantación debe estar libre de riesgo de inundación.

El rango de temperatura media anual del suelo va desde los 15°C a los 22°C y la diferencia entre la temperatura media del suelo del verano y del invierno debe ser mayor de 6°C , a 50 cm de profundidad (INTA, 2018).

En el Anexo II se puede observar la clasificación de suelos realizada por Gómez & Cruzate (2007). La región del Valle Inferior del río Negro está dentro de la clasificación de aptitud para el cultivo de pecán como suelo marginal, presenta suelos arídicos caracterizados por su bajo régimen de humedad y por el patrón de temperaturas presentes en la región.

1.2.3. Nutrientes

Dentro del manejo, la nutrición en la producción de pecán conlleva el 50% de los costos de producción. Uno de los principales nutrientes requeridos del pecán, es el nitrógeno (N) necesario para incrementar la calidad y la productividad del cultivo. Los

efectos del N en la planta se pueden observar en la longitud de los brotes, tamaño de la hoja, color verde oscuro de la hoja, además de un denso follaje (Sánchez, *et al.* 2009). Los efectos de una escasez de N se pueden ver en el poco desarrollo del fruto, pobre llenado de la semilla y aumento del número de frutos con “golpe de sol” (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011).

El zinc es un micronutriente que por lo general se encuentra deficiente en distintos suelos o es de difícil absorción por parte de las raíces en suelos calcáreos, por lo que muchas veces es necesario su aplicación a través de aspersiones foliares o sulfato de zinc (Vargas Piedra & Arreola Ávila, 2008).

1.3. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DE LA ARGENTINA PARA EL CULTIVO DE PECAN

En el estudio de zonificación agroclimática del territorio argentino realizado por Sierra *et al.*, (2007) (Anexo III), se combinaron índices hídricos y térmicos, para el cultivo de pecán. Las zonas óptimas para el cultivo son el centro y norte de Santa Fe, extremo sur de Corrientes y el norte de Entre Ríos, donde se hace sin restricciones climáticas de relevancia y en condiciones de secano.

En Santiago del Estero, centro y sur de dicha provincia, norte de Córdoba y noreste de Santa Fe, las condiciones térmicas son ideales, sin embargo, es necesario el riego complementario para poder obtener una producción estable de nuez pecán (Moya & Ras, 2011). En el noroeste argentino las condiciones hídricas son ideales, pero las temperaturas invernales son excesivamente cálidas, por lo que la planta no puede cubrir el requerimiento de frío adecuado durante el reposo invernal. Esta misma situación, en el estado mexicano de Chihuahua, pudo resolverse mediante la utilización de variedades adaptadas, con buenos niveles productivos (Sierra *et al.*, 2007. Delgado & Carabajal, 2018).

Para el sudeste bonaerense se calculó el índice de aptitud climática con valores entre 0,5 y 0,6 por lo cual se considera zona marginal (Anexo IV). La mayoría de las variedades requieren entre 400 y 600 horas de frío, pero en esta región hay años donde estas horas se exceden por la ocurrencia de temperaturas menores a 7°C (Cambarieri & Frusso, 2022).

1.4. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO

El valle de Viedma se encuentra ubicado al este de la provincia de Río Negro, a 40° de latitud sur y 63° de longitud Oeste. Topográficamente es una llanura con suave pendiente hacia el mar. El clima es de tipo templado semiárido, mesotermal (Thornthwaite, 1948). En cuanto a la clasificación elaborada por Sierra *et al.* (2007), nuestra zona se considera como zona marginal con riego obligatorio para el cultivo de pecán, dado que las precipitaciones necesarias para el mismo no son alcanzadas.

El régimen térmico se encuentra moderado por el efecto marítimo. Cuenta con una temperatura media anual de 14,2°C, con máximas y mínimas medias mensuales de 21,1°C y 7,9°C respectivamente (serie histórica 1965-2021). En cuanto a las precipitaciones, el promedio anual correspondiente al período 1965-2020 es de 392,2 mm (Musi Saluj, 2022).

En la Figura 1, se pueden observar las temperaturas y precipitaciones mensuales (medias, mínimas y máximas), correspondientes al Valle Inferior del río Negro. El mes de máxima precipitación es marzo, con un valor de 50,9 mm, y el valor mínimo corresponden al mes de septiembre con 23,6 mm.

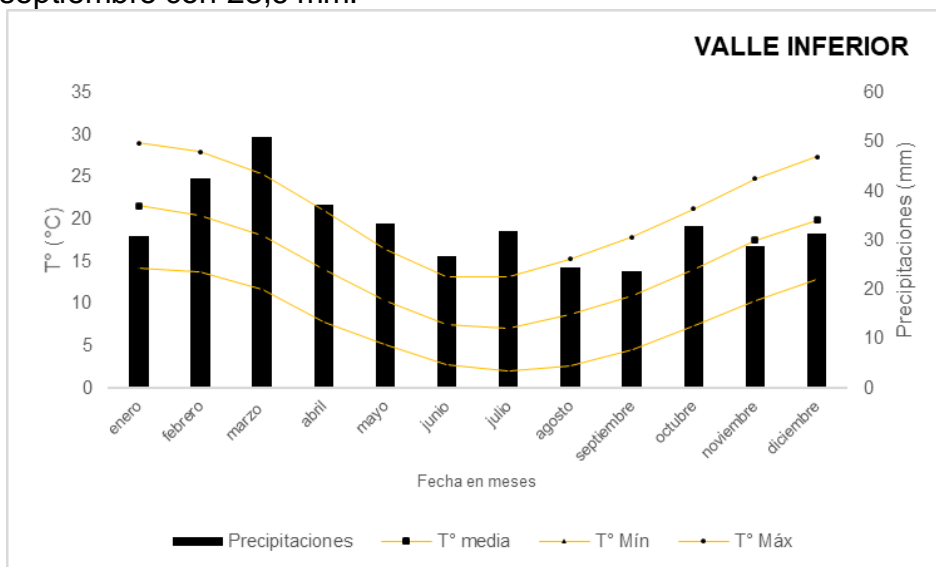


Figura 1. Climograma del Valle Inferior del río Negro. Temperatura media en °C y precipitaciones en mm históricas. Fuente: Elaboración propia basada en la serie histórica 1965-2021. Musi Saluj (2022).

El verano se caracteriza por tener una amplitud térmica diaria muy notoria, durante el día se registran temperaturas altas y durante la noche la temperatura suele bajar considerablemente. La temperatura promedio estival es de 21,6°C, con mínimas de 15°C

y máximas de 30°C. Los meses de junio y julio, presentan las temperaturas medias más bajas, con 7,5 y 7,1°C respectivamente.

La heliofanía está dentro del grupo de los mayores rangos del país con un promedio de 2.693 horas de sol al año, lo cual permite una buena disponibilidad de radiación solar aún para los cultivos más exigentes. Otro punto a destacar es el viento, que va desde velocidades moderadas a regulares, fuertes y muy fuertes (Berasategui, 2002).

La fecha media de primera helada para el período 1994-2021 es del 05 de mayo, mientras que la fecha de última helada es del 09 de octubre, con un período libre de heladas de 208 días y un período de ocurrencia de heladas de 157 días.

La humedad presenta rasgos desde 42% a 65%, los menores porcentajes corresponden a la estación de verano, esto se relaciona con la mayor ocurrencia de vientos y temperaturas más elevadas que en conjunto desecan la humedad del aire. Las horas de sol son menores en el invierno, y los días de lluvia se mantienen constantes a lo largo del año (Musi Saluj, 2018).

1.5. FENOLOGÍA DEL PECÁN

La fenología del pecán se puede dividir en tres partes diferenciadas (Frusso, 2007):

- Etapa de desarrollo vegetativo: comprende el período que va desde brotación hasta desarrollo completo de la hoja.
- Etapa de desarrollo reproductivo y formación del fruto: comprende los períodos de floración y formación del fruto.
- Etapa de senescencia: comprende los períodos de amarilleo y caída de hojas.

Conocer la fenología del pecán es una herramienta que permite definir y reconocer aquellos períodos favorables para la planificación y manejo del cultivo. Utilizar la fenología y vincularla con las condiciones agroclimáticas, faculta a seleccionar aquellas variedades que mejor se adapten a la región y así poder tener rendimientos aceptables. La finalidad es descartar variedades que tienen, por ejemplo, brotación y floraciones tempranas predispuestas a sufrir daños por heladas primaverales (Delgado & Carabajal, 2018).

El desarrollo de la nuez de pecán se puede dividir en dos fases: desarrollo del endospermo y crecimiento del embrión. Estas fases han sido estudiadas con precisión para la variedad "Western" en México, sin embargo, las mismas pueden variar según las condiciones medioambientales e incluso entre años (Godoy Ávila, 1996).

- Desarrollo del endospermo (Fase I): la nuez se alarga y el volumen del endospermo se incrementa. Como se puede observar en la Figura 2 - A, en Comarca Lagunera (México), el inicio del estado acuoso se produce a los 66 días de la receptividad del estigma (se produce en el día 0), mientras que el endurecimiento de la cáscara se produce a los 89 días.
- Crecimiento del embrión (Fase II): esta fase es marcada por el desarrollo de los cotiledones y es correlacionada con el llenado de las nueces. El llenado se comienza a los 97 días desde la receptividad del estigma.

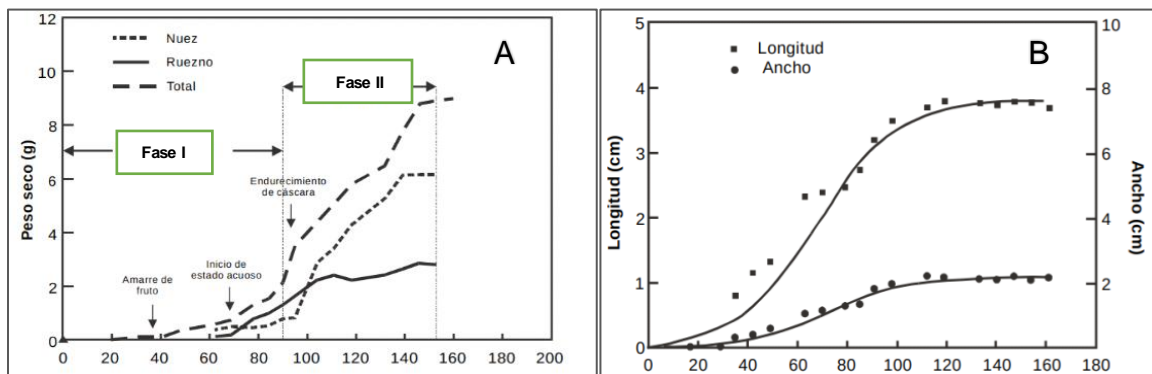


Figura 2. A) Fases I y II. B) Crecimiento de la nuez de pecán Cv. Western en su sección longitudinal y transversal. 1994. Fuente: Godoy (2000).

En la Figura 2 - B, se muestra el crecimiento de la nuez tanto en ancho como en largo, se puede observar que ambos parámetros se incrementaron desde el día 20 después de la fecundación del estigma, volviéndose constante el crecimiento hacia el día 140, con una duración total de 120 días.

1.5.1 COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO DE LAS DIFERENTES VARIEDADES DE PECÁN

Es necesario conocer el comportamiento fenológico de las variedades de pecán ya que poseen diferentes requerimientos agroclimáticos y, además, presentan distintos comportamientos en cuanto a madurez, resistencia a plagas y enfermedades (Taiariol, 2022). Un factor importante a la hora de elegir variedades es que florezcan después de las heladas tardías y que las horas disponibles de frío sean las suficientes para la brotación y las horas de calor sean acordes para una correcta floración y madurez del fruto (Fuente *et al.*, 2022).

En Estados Unidos, hay más de 200 variedades de pecán. Muchas de las variedades obtenidas son cruces de variedades conocidas como, por ejemplo: Choctaw, Mohawk, Sioux y Wichita (Carroll & Smith, 2017). En Argentina, hay 36 variedades que

están en producción y, además, se analiza la adaptación a las diferentes regiones del país de más variedades (Descalzo *et al.*, 2021).

Por otra parte, también es importante considerar a la hora de seleccionar las variedades, la viabilidad del polen. Dado que, este debe estar disponible para las flores femeninas mientras estas se encuentren receptivas para que ocurra la polinización, esto se puede lograr según explican Carroll & Smith (2017), al mezclar en un monte frutal dos variedades tardías y dos variedades tempranas. Los autores también mencionan, que la polinización se ve disminuida aproximadamente a partir de los 45 m de distancia del polinizador, por lo que se recomienda que éstos estén a menos de 90 m.

Entre los parámetros que se utilizan para seleccionar variedades se deben considerar: intensidad de la alternancia, productividad, calidad de la nuez, resistencia a sarna y la capacidad de adaptación. A continuación, se describen algunas de las variedades utilizadas en el Valle Inferior del río Negro.

‘Colby’

Es una variedad que produce constantemente a lo largo de los años, pero no produce mucha cantidad de nuez. La madurez de la nuez es temprana y, una característica sobresaliente de la variedad es su resistencia al frío (Carroll & Smith, 2017). Es un árbol susceptible a la mancha marrón (*Fungus cercospora fusca*), la cual aparece en hojas maduras y se da principalmente en climas con elevadas precipitaciones y áreas con baja fertilidad (Dabul, 2007).

‘Desirable’

Es una variedad de nuez de mesa (Anexo VII). Sus frutos son de tamaño grande, con buen llenado y buen valor de mercado. Presenta cosechas de alta calidad con bajos niveles de alternancia o vecería. Se recomienda utilizarla hasta el centro de Buenos Aires debido a que no es muy resistente al frío (Madero & Frusso, 2009; Doreste, 2014). Se poliniza bien con ‘Kiowa’, ‘Kanza’ y ‘Stuart’. Es el cultivar pecanero con más sensibilidad a la sarna del pecán, requiere tratamiento con fitosanitarios.

‘Giles’

Los árboles tienden a ser muy pesados en cuanto a producción en algunas temporadas y responde bien al raleo de frutos. Las nueces son de calidad moderada. En cuanto a su aptitud polinizadora se han observado buenos resultados mezclado con variedades que tienen floración femenina receptiva temprana (Carroll & Smith, 2017).

‘Kanza’

Esta variedad se destaca por ser resistente al frío y produce buenos rendimientos sostenibles, pero éstos se alcanzan cuando la planta llega a una edad adulta. Las nueces obtenidas presentan buena calidad, además de facilidad y buen rendimiento al descascarado. La almendra es de color amarillento brillante (Anexo VII) (Thompson *et al.*, 1996; Carrol & Smith, 2017). Puede ser polinizado por ‘Desirable’, ‘Oconee’ y ‘Pawnee’.

‘Kernodle’

Nuez extragrande, con rendimiento al descascarado del 53% aproximadamente. La cáscara es relativamente fina y la semilla posee un color amarronado (Doreste, 2014). En Georgia (Estados Unidos) no lo recomiendan para producción comercial (Wells & Conner, 2009).

‘Kiowa’

Esta variedad presenta una nuez grande y de gran calidad. Entra en producción rápidamente y sus características son parecidas a la variedad ‘Desirable’. Un aspecto positivo es que presenta resistencia a la sarna del pecán. En cuanto a las desventajas de esta variedad, la más importante es la alternancia de cosechas, además de que no tiene tolerancia al frío y su cosecha es tardía. Los polinizadores que mejor se adaptan a ‘Kiowa’ son: ‘Desirable’ y ‘Pawnee’ (Wells & Conner, 2009). Otro punto para destacar es que la selección del portainjerto y la altura del mismo afectan el rendimiento del árbol. Los daños por frío en árboles jóvenes y viejos se pueden atenuar al utilizar pies de variedades del norte de EE.UU., como lo son ‘Giles’, ‘Peruque’ y ‘Colby’ (Carroll & Smith, 2017).

‘Pawnee’

Esta variedad se obtuvo de la cruce entre ‘Mohawk’ y ‘Starking’. Es un árbol rústico que no requiere demasiados cuidados, su producción es precoz. Puede ser polinizada por las variedades ‘Desirable’, ‘Kiowa’ y ‘Stuart’ (Wells & Conner, 2009). Otro aspecto a destacar es su porte cerrado, utilizado en producciones con marcos de plantación reducidos. Las nueces presentan buen tamaño (Anexo VII), son de alta calidad y se deben cosechar tempranamente porque tienden a oscurecerse una vez maduras o a presentar demasiadas rayas negras. (Wells & Conner, 2009). Sin embargo, Carroll & Smith (2019) mencionan que los árboles son susceptibles al hacinamiento, pueden presentar alternancia y, además, son propensos a sufrir daños por aves.

‘Peruque’

La productividad de la variedad ‘Peruque’ es constante a lo largo de las temporadas productivas y sus nueces presentan una destacada calidad. No es tolerante a la falta de agua y esto produce que sus nueces sean de menor tamaño. Al igual que ‘Pawnee’, también es propenso al daño por aves (Carroll & Smith, 2017).

‘Oconee’

Produce nueces de alta calidad (Anexo VII) y se adapta al clima continental de Oklahoma y de Georgia (EE.UU.). Es una variedad muy precoz y al envejecer suele crecer demasiado y competir con otros árboles en el monte (Carroll & Smith, 2017). Puede ser polinizado por ‘Stuart’ y es susceptible al pulgón negro del pecán (Wells & Conner, 2009).

‘Osage’

Esta variedad, originaria de 1989, fue seleccionada de un cruce de las variedades ‘Major’ y ‘Evers’. Es una variedad de madurez temprana y su nuez es de tamaño pequeño, pero con un rendimiento al descascarado del 51% (Anexo VII). Sus rendimientos han sido bajos en los sitios de estudio y, además, presentó alternancia (Wells & Conner, 2009).

‘Starking’

No es un árbol de porte grande, su tamaño va de mediano a pequeño. Su cualidad más valorada es su precocidad en cuanto a maduración del fruto (Anexo VII). Una de las desventajas de esta variedad es que por varios años sus nueces no se desarrollan adecuadamente y, por este motivo se desprenden del árbol y afectan en gran medida su rendimiento (Worley & Mullinix, 1994).

‘Summer’

La variedad ‘Summer’ es de maduración temprana y una calidad pobre, produce nueces de pequeño tamaño (Carroll & Smiths, 2019).

‘Stuart’

Es un árbol fuerte, fácil de conducir y no es exigente en manejo. La nuez es de tamaño medio, con cáscara de dureza intermedia a dura (Anexo VII). El periodo de entrada en producción va de 6 a 7 años (Doreste, 2014). El rendimiento de este árbol se mantiene en el tiempo, no presenta precocidad y en Georgia (EE.UU.) lo utilizan como indicador para comparar con otras variedades porque supera ampliamente en rendimiento al llegar a la adultez. Sus nueces no son de las de mayor calidad pero presentan mayor densidad en el llenado de la nuez. Sin embargo, a pesar de esto, en

Georgia no recomiendan plantar nuevos montes frutales con esta variedad porque es susceptible a la sarna (Wells & Conner, 2009).

‘Success’

El fruto es de tamaño grande, con rendimientos del 50% al descascarado (Anexo VII) (Doreste, 2014). Es susceptible a ‘*Shuck decline*’, una enfermedad en la cual las cáscaras se vuelven negras hasta las puntas o también puede desprenderse en la sutura y afectar a la semilla, la cual puede volverse negra o directamente no existir (Wells & Conner, 2009; Carroll & Smith, 2017).

1.5.2. PERÍODOS DE LIBERACIÓN DE POLEN Y RECEPTIVIDAD ESTIGMÁTICA.

Para obtener rendimientos aceptables de nuez es necesario conocer el comportamiento fenológico de las distintas variedades de pecán en la región climática donde vamos a realizar el cultivo, ya que esto nos va a determinar el éxito o no del mismo. La selección de variedades debe ser muy cuidadosa para compensar la dicogamia y las variaciones inducidas por el clima en la madurez del polen y los patrones de dispersión (Wood, 2000; Tarango Rivero, 2012).

La dicogamia en el pecán puede ser total o puede ser incompleta, esto implica que se superponen las floraciones de una misma variedad en todo el ciclo o en algún momento del ciclo. No hay variedades netamente polinizadoras o productoras, sino que hay variedades compatibles según la sincronización de la liberación de polen y la receptividad de estigmas. Cabe aclarar que los mencionados ciclos suelen variar de año a año dado que son reguladas por las condiciones climáticas. Las dinámicas de polinización pueden causar problemas en el establecimiento de los frutos y la planificación del monte frutal, por ello debe realizarse de acuerdo a la compatibilidad de las variedades y los patrones de circulación del viento en la zona elegida para el mismo (Fasiolo, 2016; Zoppolo *et al.*, 2016).

La duración del período de receptividad estigmática juega un papel central en la regulación del aislamiento entre sexos en las plantas de pecán. Se ha demostrado que tal duración se ve influenciada por la temperatura y la humedad (Madero, 2013. Citado en Delgado & Carabajal, 2018). Cuando el estigma está receptivo, se encuentra húmedo y pegajoso por las secreciones estigmáticas. Así mismo, la receptividad también se ve disminuida por el viento, el cual afecta físicamente a la planta y disminuye la humedad relativa por debajo del 50%. La receptividad se ve finalizada cuando el estigma cambia de color y no presenta secreciones (Zoppolo *et al.*, 2016).

Si bien las características climáticas influyen en la dicogamia del pecán, parece ser que la determinación de la protandria y protoginia se regula genéticamente. Thompson (1985) menciona que la protoginia se encuentra bajo el control de un solo gen denominado 'P' que le da la característica de dominante, mientras que la protandria es recesiva 'pp' y describe a 'Stuart' como una variedad protoginia con heterocigosis (P-). Por lo que el comportamiento de 'Stuart' del trabajo de Zoppolo *et al.* (2016), podría tratarse de una influencia en la dicogamia por cuestiones de ambiente, o bien podría deberse a que sus padres son 'Stuart' o protóginos heterocigotos (Pp); da lugar a un descendiente recesivo (pp), por lo que su comportamiento es protándrico.

1.6. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA NUEZ PECÁN

Uno de los factores más importantes en la determinante del rendimiento y crecimiento del cultivo es el manejo de la nutrición. Esto posibilita evitar las deficiencias y desbalances nutricionales y permite, de esta manera, disminuir la alternancia de la producción. En años de elevada cosecha hay una tendencia al agotamiento de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. (Santamaría *et al.*, 2002; Giuffré *et al.*, 2010). Además de la fertilización, influyen otros factores como la elección de la variedad y el manejo sanitario (Villamil *et al.*, 2021).

Otro factor que se correlaciona positivamente en el rendimiento es el número de riegos. Se recomienda una frecuencia de 20 a 25 días para obtener una buena producción de frutos y su calidad (Godoy, 1986. Citado en Santamaría *et al.*, 2002). Investigadores pertenecientes al INIA Las Brujas (Uruguay), destacan que el riego es fundamental en el desarrollo del cultivo y el desempeño productivo (Villamil *et al.*, 2021). Por ello, las necesidades hídricas suelen calcularse según: la localización, el tipo de suelo y tamaño de la planta más un ajuste de necesidades hídricas del cultivo por precipitaciones. En promedio aplican aproximadamente riegos de 600 litros semana⁻¹ planta⁻¹ en árboles de 10 años de edad.

Sparks (1996), menciona que climas extremos y lluvias excesivas en la estación de crecimiento de los frutos pueden provocar que el desarrollo y la calidad de los mismos se vean reducidas. Por otro lado, una humedad inadecuada del suelo puede provocar abortos y reducir la productividad.

La sarna del pecán (*Venturia* y *Cladosporium carygenum*) afecta a las hojas, frutos

y produce mayor cantidad de daños en las primeras etapas de expansión de las hojas y de crecimiento de la nuez. Afecta principalmente cuando hay acumulación de días lluviosos y las hojas permanecen mojadas (Sparks, 1996).

El rendimiento del nogal pecanero tiene una correlación negativa al año anterior (alternancia) y positiva con el rendimiento acumulado en el tiempo, es decir, aumenta a medida que el árbol crece. Lo mismo sucede con el crecimiento de los brotes terminales y nueces.kg⁻¹, ya que al madurar el árbol tiende a producir más nueces, pero se dificulta su llenado y da nueces livianas (Santamaría, 2002; Wells & Conner, 2009).

El tamaño de la nuez es un factor determinante en la selección de una variedad y es importante por muchas razones. Los consumidores tienden a preferir aquellas nueces más grandes (con o sin cáscara), lo que para el productor es una ventaja porque son más fáciles de descascarar y, además, se pueden vender a mayor precio. La desventaja es que son más difíciles de llenar y obtener un buen rendimiento al descascarado o porcentajes de semilla (principal determinante de la calidad de la nuez). Los tamaños de nuez ideales tienen de 80 a 100 nueces.kg⁻¹ (Wells & Conner, 2009).

La calidad es una característica del producto que hace que este sea aceptable por parte de los consumidores, es decir, que sea inocuo, con buen aroma, apariencia, realice aporte de nutrientes a la dieta y, además, cumpla los requerimientos del mercado interno y externo (Engo *et al.*, 2015. Citado en Grassi, 2017). La nuez pecán se puede dividir en variedades de mesa y del tipo industrial. En el primer caso, las nueces son frutos grandes con más facilidad de pelado. Mientras que las nueces del tipo industrial son frutos que presentan menor facilidad de pelado y con rendimientos de semilla altos (Lemus, 2004).

El manejo agronómico del cultivo es uno de los principales determinantes de la calidad de la nuez, esto incluye: riego, poda, fertilización, prevención de plagas y enfermedades, entre otros (Grassi, 2017). La cosecha es uno de los aspectos más importantes porque debe realizarse de manera adecuada y con disponibilidad de un buen método de secado para evitar que los componentes nutricionales se degraden y aparezcan hongos en las semillas de las nueces (Mitrovich *et al.*, 2019).

1.7. SITUACIÓN MUNDIAL

La producción mundial de nuez pecán para 2020/2021 fue estimada en 166.362 toneladas (Figura 3 A), un 7% más que 2019/2020 y un 35% más que los 10 años anteriores, y el volumen más alto de la última década.

México y Estados Unidos, lideraron la producción con participaciones del 49% y 41%, respectivamente. El 8% restante se dividió entre el sur de África, Brasil y Australia. Aunque más pequeño en términos de superficie de cultivo, Sudáfrica y Brasil han visto un crecimiento relativamente constante en la producción de nuez en los últimos años y esta tendencia se espera que continúe (Figura 3 B) (Campbell & Shonkwiler, 2020; International Nut & Dried Fruit, 2021). En Estados Unidos la producción decreció 22.7% durante el período 1993-2003, con altos valores de alternancia en dicho período, mientras que en México aumentó un 49,2% (USDA-FAS, 2003; Citado en Orona Castillo *et al.*, 2013). Esto puede deberse en gran medida a la naturaleza de los árboles de pecán, ya que gran parte de la producción es proveniente de árboles nativos por lo cual, la alternancia a veces puede ser elevada, mientras que la producción en México proviene mayoritariamente de variedades mejoradas.

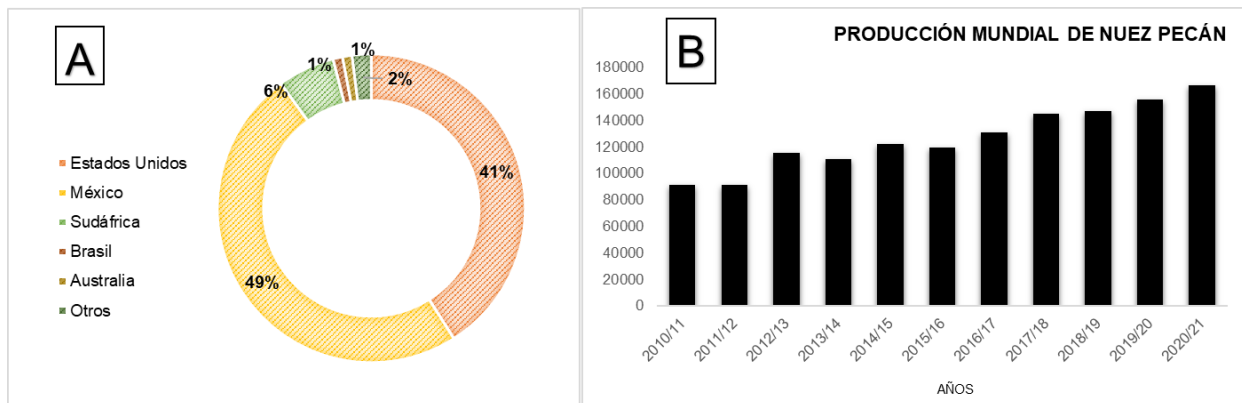


Figura 3. A: Oferta global de nuez pecán. B: Evolución de la producción mundial de nuez pecán sin cáscara 2010-2021. Fuente: Elaboración propia adaptado de datos obtenidos en International Nut & Dried Fruit (INC) 2020-2021.

1.8. SITUACIÓN NACIONAL DE NUEZ PECÁN

Argentina tiene una superficie de 8.102 hectáreas implantadas con pecán (Sánchez, 2020) de las cuales sólo el 25 % son plantaciones en plena producción, en tanto el 75 % restante está formado por árboles que recién comienzan a producir o aún se encuentran en una etapa juvenil. La principal región productora del país es el NEA, con Entre Ríos como la provincia con mayor cantidad de emprendimientos, le sigue en importancia la provincia de Buenos Aires, incluido el Delta del Paraná (Bischoff, 2020).

Se estima que el consumo de nuez pecán en Argentina es de 10 gr hb año⁻¹ y el 70% de la producción se destina al consumo interno (Mancilla Toro, 2020). El consumo de la misma se incrementó debido a su difusión como alimento saludable. Un dato importante sobre el consumo en el país es que presenta cierta estacionalidad

concordante con las fiestas de fin de año sobre todo en octubre-noviembre, pero tiene proyección a que su demanda se sostenga durante todo el año.

En nuestro país, se cuenta con diferentes eslabones de producción que va desde viveristas (insumos), producción primaria y el eslabón de comercialización. La forma más común de comercialización de la nuez es con cáscara, sin embargo, algunos productores realizan ventas minoristas de nueces sin cascara, a través de un descascarado manual (Brandan & Paz, 2015).

Aproximadamente se exporta el 30% de lo producido en el país y los principales destinos son Hong Kong, Vietnam, Argelia y Uruguay (Mancilla Toro, 2020). Las exportaciones argentinas de nuez pecán en el año 2018 fueron de 350 tn, con un valor aproximado FOB de 1,1 millones USD, mientras que en el 2019 se exportaron 500 tn (Bischoff, 2020; Prinsich, 2021). En el año 2020 se exportaron nueces de pecán por un valor de 1,2 millones USD, una baja de 47,8%, con un precio de exportación de 5,109 USD/tn (Carciofi *et al.*, 2021). Las importaciones de nuez pecán que realizó la Argentina en el período 2000-2011, fueron provenientes desde China, España, Líbano, Turquía, Costa de Marfil, Italia, Corea, Australia, Brasil y la India (Clúster de la nuez pecán, 2015). Hacia el 2017, se importó un volumen de 3,49 tn correspondiente a un monto CIF en USD de 16613,00 (4760,17 USD CIF/ton), proveniente de China (Mancilla Toro, 2020).

Uno de los mercados de exportación más atractivo es el estadounidense, pero también lo son los mercados de China, Alemania e Italia ya que son los máximos importadores a nivel mundial (Carciofi *et al.*, 2021). Actualmente, la demanda en contra estación es satisfecha con producción regional conservada en cámara de frío. Otros mercados en crecimiento son China y otros países asiáticos y, en menor medida, la Comunidad Económica Europea.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En el Valle Inferior del río Negro, los cultivos de frutos secos tales como el nogal (*Juglans regia* L.) o el avellano (*Corylus avellana* L.) constituyen las actividades frutícolas de mayor dinamismo y crecimiento desde el inicio del presente siglo (Rolka *et al.*, 2014). Recientemente, el cultivo de pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C.Koch], ha cobrado importancia relevante como alternativa productiva en Argentina, evaluándose la aptitud agroclimática de distintas regiones de nuestro país (Conti *et al.*, 2008) y la fenología de diversas variedades (Bouhier & Martín, 2016; Delgado & Carabajal, 2018).

Actualmente el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) contribuye al desarrollo de variedades de pecán en el país mediante el estudio de la fenología y el comportamiento en distintos ambientes (Red Nacional INTA 2007-2020 de variedades de pecán). Por este motivo, en el 2008 se inició una plantación de variedades de esta especie en la Estación Experimental Agropecuaria del Valle Inferior de Río Negro (Convenio Prov. Río Negro-INTA), para evaluar su potencialidad en la norpatagonia.

Este es el punto central que justifica la presente investigación en la búsqueda de alternativas productivas para la región. Resulta necesario profundizar el conocimiento de los efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento fenológico y productivo de distintas variedades de pecán pasibles de ser implantadas en la región.

HIPÓTESIS GENERAL

1. Las condiciones agroecológicas del Valle Inferior del río Negro son aptas para el desarrollo de un grupo de variedades de pecán, por su evolución fenológica y adecuada aptitud productiva.

OBJETIVO GENERAL

Aportar información sobre el comportamiento fenológico, fenométrico y productivo de 19 variedades de pecán en las condiciones agroecológicas del VIRN para el ciclo productivo 2021-2022.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el seguimiento fenológico de la brotación y floración y caracterizar algunos parámetros fenométricos.
2. Determinar las necesidades de frío para la brotación y las necesidades de calor para la floración femenina y masculina en las variedades más promisorias.

3. Evaluar la capacidad productiva y la calidad comercial de los frutos (tamaño, peso y rendimiento industrial).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en la zona del Valle Inferior del río Negro (Figura 4 - 1 y 2). La misma se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 40° 48' de latitud S y 63° 05' de longitud W., desde la primera angostura hasta la desembocadura del Río Negro en el Océano Atlántico.



Figura 4. Imágenes satelitales 1) Ubicación del VIRN en la Provincia de Río Negro. 2) VIRN.3) Ubicación de la EEA Valle Inferior donde se encuentra el sitio experimental. Fuente: Google Earth (2023)

La superficie es de aproximadamente 100 km de largo por 8 km de ancho, alcanza alrededor de 80.000 ha. El Valle Inferior del Río Negro abarca 22.000 ha bajo riego agrupadas en 500 chacras de diversos tamaños. En el VIRN se encuentra la Estación experimental Agropecuaria del INTA (EEA INTA VIRN), en el camino 4 RN 3 KM 971 (Figura 4-3).

Sitio Experimental

El estudio se realizó en la temporada 2021 - 2022 sobre 19 variedades de pecán (*Carya illinoensis*) implantadas en una parcela de la EEA Valle Inferior del Río Negro

Convenio Prov. de Río Negro-INTA, ubicadas a 40° 45'LS y 63°17' LW y 6 msnm (Figura 5), todas las variedades fueron suministradas por la EEA Delta del Paraná.



Figura 5. Sitio experimental, parcela de pecán en la EEAIVI. Fuente: Google Earth (2023).

Las variedades en estudio se describen en la Tabla 1, con sus correspondientes años de plantación y cantidad de plantas introducidas por variedad. El marco de plantación es de 10 m x 10 m, las plantas están conducidas en vaso, y son regadas mediante riego gravitacional por manto. El suelo de la parcela experimental es característico de la zona, de textura franco-arcillosa, sin problemas de salinidad.

Tabla 1. Variedades de pecán bajo estudio en el VIRN, año de plantación y número de individuos (N).

Año	N	Variedades
2008	5	Desirable
2008	3	Harris super
2008	5	Kernodle
2008	3	Kiowa
2008	3	Oconee
2008	4	Pawnee
2008	12	Starking
2008	4	Stuart
2008	4	Success
2009	5	Summer
2011	4	Colby
2011	4	Giles
2011	3	Green river
2011	2	Hodge
2011	2	Kanza
2011	3	Lugas
2011	3	Major
2011	1	Osage
2011	4	Peruque
Total	74	

Diseño del ensayo

El diseño experimental empleado fue completamente aleatorizado y se tomó como unidad experimental a cada árbol (Tabla 1). La metodología de investigación empleada fue descriptiva, los datos fueron analizados mediante tablas dinámicas en Excel.

Las plantas reciben prácticas habituales de control malezas, fertilización y riego. En la temporada 2021/2022 las plantas fueron fertilizadas por suelo con N Max e Hidrocomplex y vía foliar con Zinc. Se aplicaron 7 riegos durante la temporada vegetativa.

A continuación, se describe la metodología usada para responder a cada objetivo específico.

2.1. FENOLOGÍA Y FENOMETRÍA

Se realizaron observaciones semanales de fenología y fenometría según los lineamientos descritos por Frusso (2007), durante el ciclo 2021/2022.

Se utilizó el protocolo de toma de datos a campo utilizado por la Red Nacional cultivares de pecán del INTA. Para llevar a cabo las observaciones semanales se eligieron 4 ramas en sentido Este-Oeste y Norte-Sur (4 observaciones por repetición por variedad). Las ramas elegidas eran ramas del crecimiento del año de 20 a 50 cm de largo.

En cada rama se registraron los siguientes parámetros:

- Desarrollo vegetativo: Fecha de brotación.
- Desarrollo reproductivo: Fecha de floración masculina: inicio y fin de liberación de polen. Fecha de floración femenina: inicio y fin de receptividad del estigma. Periodos de floración.
- Crecimiento del fruto: diámetro del fruto desde cuaje hasta desarrollo final.
- Fructificación: madurez fisiológica. Apertura de valvas.
- Calidad comercial del fruto: tamaño del fruto (largo), peso de fruto y semilla; humedad: del fruto con cáscara y de semilla; rendimiento al descascarado.
- Rendimiento productivo en kg por planta.
- Senescencia: amarillamiento y caída de follaje.

Desarrollo vegetativo.

- *Brotación*: se realizaron observaciones sobre yemas de ramas terminales de un año de edad y se registraron las fechas de los estadios V3 (yema rajada partida exterior), V4 (yema rajada partida interior) y V5 (hoja expandiendo).

Floración masculina.

- *Elongación de amentos (R1)*: se registró el período de elongación de amentos desde la aparición de la inflorescencia masculina hasta la liberación de polen.

- *Inicio de liberación de polen (R2) /Fin de liberación de polen (R4)*: para registrar la fecha de inicio y de fin de liberación de polen, se sacudieron los amentos de las ramas terminales (correspondientes a cada punto cardinal) sobre un fondo oscuro y se realizaron observaciones de desprendimiento de polen. El periodo de liberación de polen se calculó en base a la diferencia en días de los estadíos R2 y R4.

Floración femenina.

· *Inicio de floración (IFF)*: Se registró la fecha de comienzo de flor femenina y del momento en que ésta se vuelve receptiva al polen.

· *Inicio de receptividad de estigma (IRE)(R3)*: Durante el desarrollo de la flor femenina se registró el momento en que esta se encontraba con los estigmas receptivos, es decir, cuya posición de los sépalos se encontraba a 45° respecto del eje central de la flor.

· *Fin de receptividad de estigma (FRE)*: Se registró la fecha en la que el estigma deja de estar receptivo al polen, lo cual se visualizó como una necrosis (color castaño oscuro) en la superficie del mismo. Las ramas elegidas fueron las mismas que las seleccionadas para el inicio de receptividad de estigma.

· *Periodo de receptividad de estigma (PRE)*: Se obtuvo a partir de la diferencia en días entre IRE y FRE.

· *Dicogamia*: De acuerdo a los resultados obtenidos tanto en floración femenina y masculina, se clasificaron las variedades de pecán en protándricas como tipo 1 y protoginias como tipo 2. Además, se analizó la compatibilidad de las variedades de acuerdo a la sincronización de la liberación de polen y la receptividad de estigmas, y se confeccionó en una tabla según Conner, (2021):

(a) La fuente de polen no sincronizó con la floración femenina.

(b) Sincronización parcial. Las flores masculinas proveen polen en la primera mitad de receptibilidad de las flores femeninas.

(c) Sincronización parcial. Las flores masculinas proveen polen en la segunda mitad de receptibilidad de la floración femenina.

(d) Buena sincronización. Las flores masculinas proveen polen durante la mayor parte del período de receptibilidad.

Frutos cuajados.

Se registró la fecha del estado de frutos cuajados.

Crecimiento de los frutos

Una vez cuajado el fruto, se procedió a medir su crecimiento (mm) sobre el ancho del mismo con una frecuencia de 15 días. Se evaluaron aquellas variedades que dieron frutos y se seleccionaron 6 de ellas ('Pawnee', 'Success', 'Kernodle', 'Stuart', 'Kiowa' y 'Harris Super') por ser las más promisorias productivamente en evaluaciones anteriores en la EEA INTA Valle Inferior.

Madurez fisiológica

Para evaluar la madurez fisiológica del fruto se procedió a registrar la fecha de la apertura de las valvas. Para ello, se realizó una ligera presión sobre el fruto, y si se abría el ruezno (involucro), se consideraba como estadio fenológico R11 (Figura 6). Este estadio también era considerado si la sutura de los frutos se encontraba abierta al momento de la observación (sin ejercer presión).



Figura 6. Etapa R11, rajado de cáscara. Fuente: Elaboración propia (2022).

Etapa de senescencia (S1) y (S2)

Se realizaron observaciones para las 19 variedades de pecán bajo estudio. La senescencia se registró cuando se observó un 20 % de la copa del árbol con hojas amarillentas (S1) (Figura 7). Similarmente, para la caída de hoja (S2) se registró cuando se observó un 20 % de la copa del árbol con hojas caídas.



Figura 7. Comienzo de amarillamiento (S1) en hojas de árboles de Pecán en el VIRN. Fuente: Elaboración propia (2022).

2.2. NECESIDADES DE FRÍO PARA BROTAÇÃO Y REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA FLORACIÓN

Se determinaron los requerimientos de frío y calor de 6 de las 19 variedades de pecán: ‘Harris Super’, ‘Pawnee’, ‘Starking’, ‘Stuart’, ‘Kernodle’ y ‘Success’. Las mismas se seleccionaron por ser las variedades que mayor potencial productivo agronómico, según el seguimiento fenológico y productivo de años anteriores (en la EEA INTA Valle Inferior) al presente trabajo.

Las necesidades de frío se cuantificaron mediante tres modelos de acumulación: horas de frío (HF), unidades de frío de Utah (UF) y porciones de frío del modelo dinámico (MD) (del Barrio *et al.*, 2022). La fecha inicial de acumulación de frío se determinó a partir del valor mínimo de acumulación de frío en el UF y cuando comienza la acumulación efectiva de porciones de frío en el MD (Luedeling, 2012).

En cuanto a los requerimientos de calor se calcularon mediante la suma de temperaturas horarias acumuladas en grados de crecimiento (GDH) propuestos por Richardson *et al.* (1974) y Anderson *et al.* (1986) desde el 01 agosto del 2021 hasta las fechas de inicio de floración femenina y masculina para cada variedad. Los registros de

temperaturas se obtuvieron de una estación meteorológica automática con certificación ISO 9001 MB3LR, marca Davis Instruments® modelo Vantage Pro2, ubicada a 300 m de la parcela experimental.

2.3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL DEL FRUTO

2.3.1. Rendimiento por planta

La cosecha se realizó durante el mes julio del 2022 cuando los frutos presentaban los rueznos abiertos en un 80% aproximadamente. El método de recolección consistió en provocar el movimiento de oscilación del árbol, al producirse la vibración de las ramas ocurrió la caída de los frutos prácticamente separados del ruezno. Para facilitar la recolección de los mismos se colocó una malla media sombra en el suelo debajo de la copa de los árboles (Figura 8). Los frutos cosechados se dispusieron en bolsas de polietileno y se pesaron para determinar el rendimiento por árbol.



Figura 8. Cosecha de pecán. Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Calidad comercial del fruto

Estas mediciones se llevaron a cabo en el laboratorio de ‘suelo, agua y vegetal’ de la Estación Experimental del INTA. Para la determinación de la calidad comercial de los frutos se seleccionaron al azar 25 frutos por repetición por variedad. Con dichas muestras, se procedió a realizar las mediciones que se describen a continuación.

- a) Largo de la nuez: Se midió longitudinalmente cada fruto (mm) con el empleo de un calibre mecánico.
- b) Peso húmedo de la nuez: Se registró el peso (gr) individual de los frutos antes del descascarado. Para ello se utilizó una balanza de precisión (Precisa Gravimetrics® AG series 321 LX).
- c) Descascarado de las nueces y pesado de las semillas: Con la ayuda del rompenueces (modelo REA990011), se separó la cáscara para registrar el peso de la semilla.
- d) Peso húmedo de las cáscaras: Se obtuvo por la diferencia de peso del punto b) y c).
- e) Peso seco de la muestra: las semillas y cáscaras obtenidas en el punto c) se colocaron en una bandeja de aluminio, ambas por separado. Luego se las llevó a estufa de secado a 30°C durante 72 hs. O hasta que el peso de la muestra se mantenía constante. La estufa que se utilizó es de la marca DALVO® modelo XHRF. El peso seco de la muestra de fruto se obtuvo por la suma del peso seco de la muestra de cáscara y el peso seco de la muestra de semilla.
- f) Humedad de la muestra: una vez retiradas las muestras de la estufa, se pesaron y registraron en las planillas de laboratorio. Los porcentajes de humedad del fruto entero y de la semilla se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$H = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100$$

Donde:

H = Contenido de humedad, expresado en porcentaje (%).

A = Peso húmedo de la muestra obtenida, expresada en gramos (g).

B = Peso seco de la muestra obtenida, expresada en gramos (g).

- g) Rendimiento al descascarado: Con los pesos obtenidos en el punto e) se procedió a calcular el porcentaje de semilla de cada variedad.
- h) Número de nueces kg⁻¹: se determinó a partir de 1 kg de nuez y contando el número de nueces presente. En el caso de variedades que produjeron rendimientos bajos, se estimó a partir de las muestras de 25 frutos por variedad cosechada.
- i) La clasificación de la nuez pecán con cáscara se realizó por tamaño, de acuerdo a la siguiente escala: gigante 122 nueces kg⁻¹ o menos, extra grande (123-139

nueces kg⁻¹), grande (140-170 nueces kg⁻¹), medio (171-210 nueces kg⁻¹) a pequeño (211-264 nueces kg⁻¹) (SENASA, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. FENOLOGÍA Y FENOMETRÍA

3.1.1. Desarrollo vegetativo

En la Tabla 2 se muestran las fechas medias de brotación para las variedades estudiadas.

Tabla 2. Fecha media de brotación del pecán para distintas variedades registradas en el 2021, en el valle inferior de Río Negro.

n	Variiedad	Fecha (Días)	Desvío estándar (días)
3	Harris super	21-09	3,1
2	Hodge	23-09	3,7
3	Major	25-09	2,7
4	Pawnee	27-09	0
1	Osage	27-09	0
3	Oconee	27-09	0
12	Starking	02-10	10,4
3	Kiowa	03-10	10,5
3	Lugas	03-10	15,1
5	Desirable	04-10	9,6
3	Green river	04-10	6,4
5	Kernodle	06-10	8,4
5	Summer	06-10	8,7
4	Stuart	07-10	12,9
4	Colby	08-10	14,1
4	Peruque	10-10	8,8
4	Success	10-10	4,6
2	Kanza	15-10	3,7
4	Giles	17-10	3,1

Los resultados indican que la época de brotación se concentra en 4 semanas según la variedad, donde la más temprana en brotar fue 'Harris super' (21 de septiembre), y la más tardía 'Giles' (17 de octubre).

Las variedades que presentaron mayor variación en la brotación fueron ‘Lugas’, ‘Colby’ y ‘Stuart’, y las que mostraron menor variación fueron ‘Pawnee’ y ‘Oconee’. ‘Osage’ presentaba una repetición en el monte frutal.

3.1.2. Desarrollo reproductivo

3.1.2.1. Floración masculina

a. Elongación de amentos (R1)

Los registros se realizaron desde los primeros días de octubre a principios de noviembre del 2021. La elongación de amentos comenzó el 6 de octubre en las variedades más tempranas y finalizó el 16 de noviembre en las más tardías tal como se observa en la Figura 9. En cuanto al período de elongación, el mismo tuvo una duración variable de 15 a 36 días.

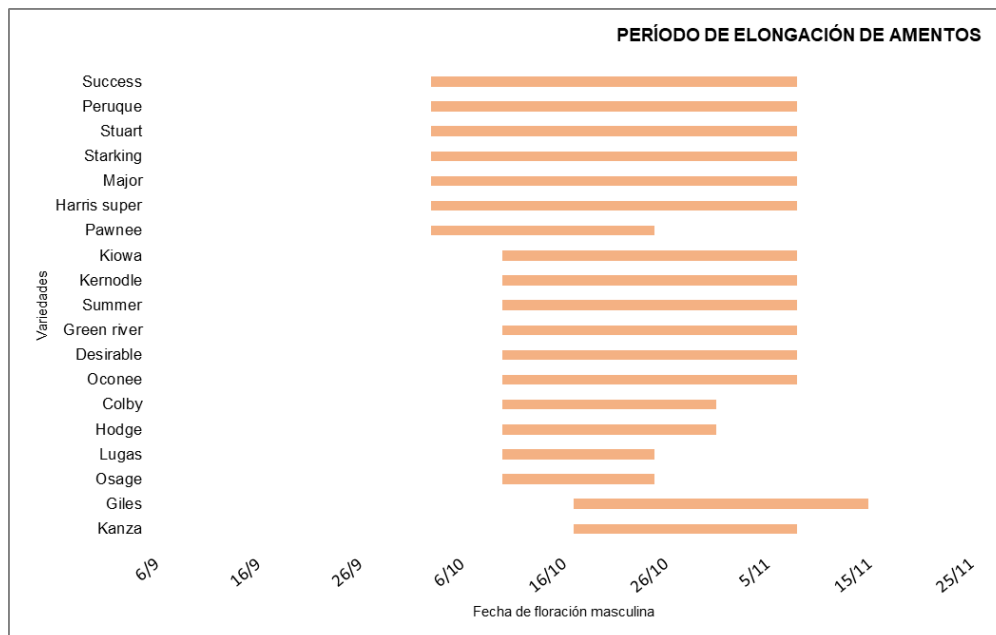


Figura 9. Período de elongación de amentos de 19 variedades de pecán en el VIRN en el año 2021.

b. Liberación de polen (R2)

Las mediciones se tomaron desde el 02 de noviembre al 25 de noviembre del 2021. De las variedades bajo estudio, 18 de ellas presentaron la etapa de liberación de polen (R2), mientras que ‘Lugas’ no lo hizo. La liberación de polen inició el 27 de octubre y finalizó el 25 de noviembre, y se mantuvo por un período de 28 días.

Las variedades más tempranas en emitir polen fueron ‘Osage’ y ‘Pawnee’, mientras que ‘Kanza’ y ‘Stuart’ fueron las más tardías tal como se observa en la Figura 10. Por otro lado, ‘Success’ fue la variedad con el período más extendido cuya duración fue de 23 días, mientras que ‘Kanza’ tuvo el período más corto, 5 días de liberación de

polen. Por otra parte, en la variedad ‘Lugas’ los amentos se elongaron, pero los mismos se cayeron antes de la liberación de polen.

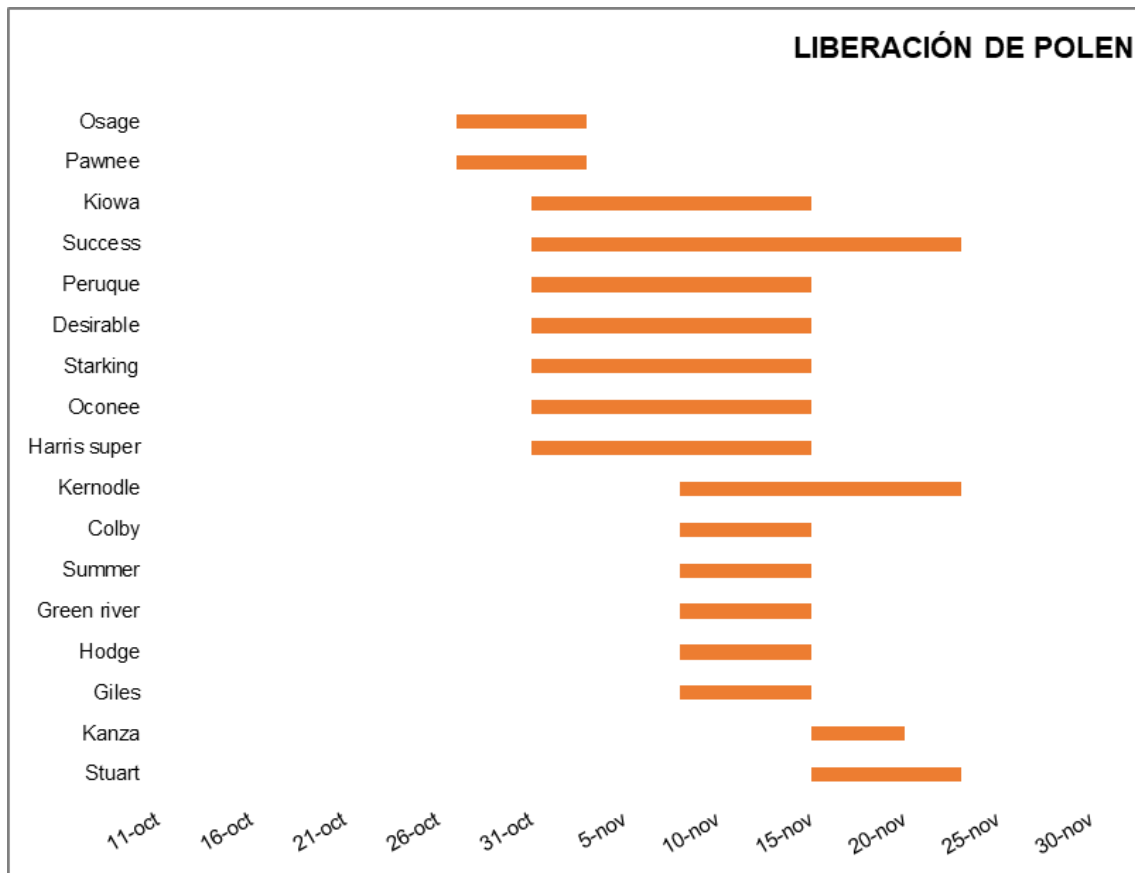


Figura 10. Período de liberación de polen (R2) de 17 variedades de pecán en el VIRN en el año 2021.

3.1.2.2. Floración femenina

a. Inicio de Floración femenina (IFF)

Los registros para IFF se realizaron desde el 27 de octubre al 17 de noviembre de 2021. Las 19 variedades bajo estudio iniciaron la floración, tal como se observa en la Figura 11. Sin embargo, ‘Giles’ inició la floración femenina el 27 de octubre, pero sus flores se cayeron tempranamente y no alcanzó el estado de flor receptiva.

b. Inicio de receptividad de estigma (IRE) y fin de la receptividad (FRE).

La fecha de observación fue desde el 02 de noviembre al 01 de diciembre de 2021 (en este período también se registró el fin de receptividad del estigma).

A comienzos de noviembre las primeras flores receptivas se observaron en las variedades ‘Hodge’, ‘Major’, ‘Harris super’, ‘Green River’, ‘Lugas’, ‘Kiowa’, ‘Osage’, y ‘Pawnee’. En la segunda semana de noviembre presentaron flores en estado de

receptividad del estigma ‘Success’, ‘Oconee’, ‘Stuart’, ‘Kernodle’ y ‘Kanza’ mientras que en la tercera semana lo hicieron las variedades ‘Starking’, ‘Peruque’, ‘Colby’ y ‘Desirable’. La variedad ‘Summer’ presentó receptividad estigmática a fines de noviembre.

Las variedades ‘Starking’ y ‘Success’ presentaron el mayor período con flores receptivas, 23 y 29 días respectivamente. Mientras que las variedades que iniciaron primero la floración como ‘Major’, ‘Harris super’ y ‘Hodge, tuvieron una receptividad de 5 a 8 días. La variedad ‘Desirable’ presentó receptividad estigmática a fines de noviembre.

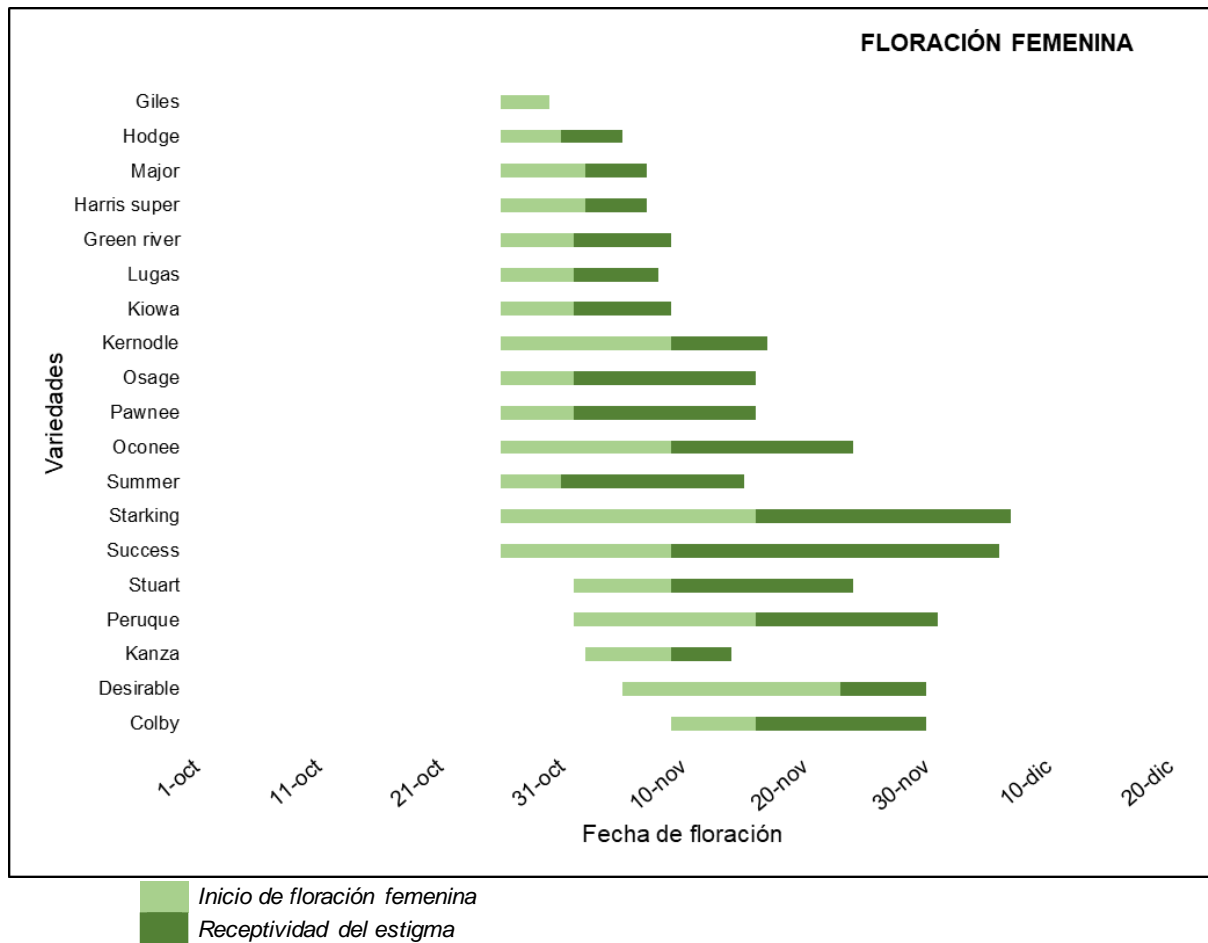


Figura 11. Floración femenina: fecha de inicio y fin de receptividad de la flor. (2021)

d. Dicogamia

En cuanto a los estados fenológicos de liberación de polen y receptividad de los estigmas de 16 variedades de pecán, 9 variedades mostraron un comportamiento protándrico (‘Pawnee’, ‘Osage’, ‘Oconee’, ‘Harris super’, ‘Starking’, ‘Desirable’, ‘Peruque’, ‘Success’ y ‘Colby’), y 7 variedades protóginas (‘Kiowa’, ‘Major’, ‘Green river’, ‘Summer’, ‘Kernodle’, ‘Stuart’ y ‘Kanza’) tal como se observa en la Figura 12.

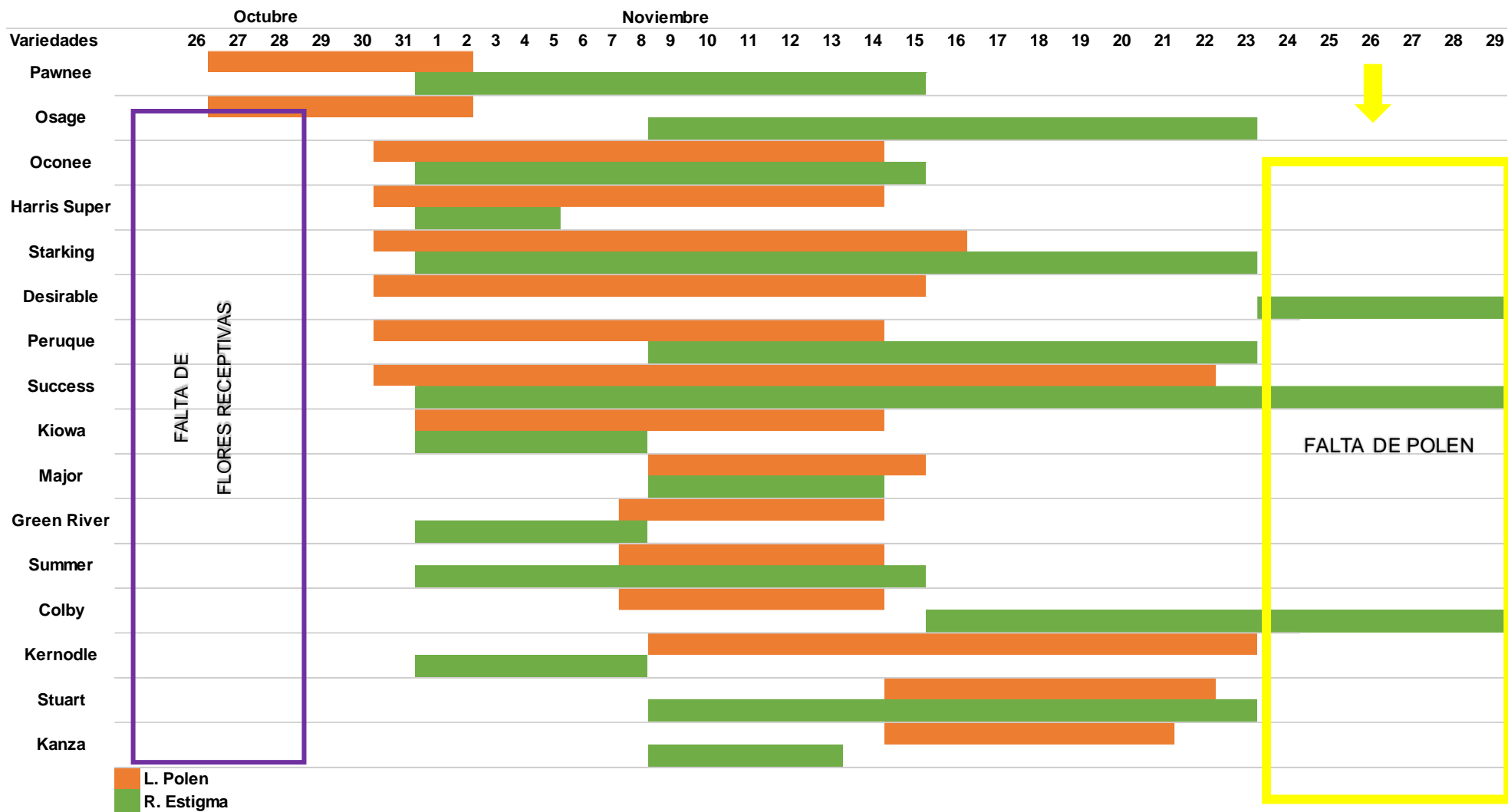


Figura 12. Período de liberación de polen y receptividad estigmática de variedades de pecán en el Valle Inferior del río Negro. Año 2021 .

De acuerdo a la sincronización cronológica entre los periodos de liberación de polen y receptividad de estigmas, presentaron dicogamia completa las siguientes variedades: ‘Osage’, ‘Desirable’, ‘Colby’, ‘Kernodle’, ‘Major’ y ‘Kanza’. Las variedades que presentaron dicogamia incompleta fueron: ‘Pawnee’, ‘Oconee’, ‘Harris super’, ‘Starking’, ‘Peruque’, ‘Success’, ‘Kiowa’, ‘Green river’, ‘Summer’ y ‘Stuart’.

En la Tabla 3, se presenta la sincronización de la liberación de polen con las flores receptoras de las variedades de pecán bajo estudio. ‘Success’ fue la variedad que mostró una sincronización completa (d) con flores receptoras de 13 variedades. Le siguieron las variedades ‘Oconee’, ‘Harris super’, ‘Starking’, ‘Desirable’, ‘Peruque’ y ‘Kiowa’ (d), las cuales sincronizaron la polinización con flores receptoras de 10 variedades. Por otro lado, ‘Stuart’, ‘Kanza’, ‘Pawnee’ y ‘Osage’, no tuvieron sincronización (a) con flores receptoras de 9 variedades.

Tabla 3. Sincronización de liberación de polen y flores receptoras.

		Flores receptoras															
		Pawnee	Osage	Oconee	Harris super	Starking	Desirable	Peruque	Success	Kiowa	Major	Green river	Summer	Colby	Kernodle	Stuart	Kanza
Polinizadoras	Pawnee	b	b	b	b	b	a	a	b	b	a	b	b	a	b	a	a
	Osage	b	b	b	b	b	a	a	b	b	a	b	b	a	b	a	a
	Oconee	d	d	d	d	b	a	b	b	d	d	d	d	a	d	b	d
	Harris super	d	d	d	d	b	a	b	b	d	d	d	d	a	d	b	d
	Starking	d	d	d	d	b	a	b	b	d	d	d	d	b	d	b	d
	Desirable	d	d	d	d	b	a	b	b	d	d	d	d	b	d	b	d
	Peruque	d	b	d	d	b	a	b	b	d	a	d	d	a	d	b	d
	Success	d	d	d	d	d	a	d	b	d	d	d	d	b	d	d	d
	Kiowa	d	d	d	d	b	a	b	b	d	d	d	d	a	d	b	d
	Major	c	b	c	a	c	a	b	c	a	d	a	c	a	a	b	d
	Green river	c	b	c	a	b	a	b	b	a	d	a	c	a	a	b	d
	Summer	c	b	c	a	b	a	b	b-c	a	d	a	c	a	a	b	d
	Colby	c	b	c	a	b-c	a	b	b-c	a	d	a	c	a	a	b	d
	Kernodle	c	d	c	a	c	a	d	c	a	b	a	c	b	a	d	d
	Stuart	a	c	a	a	c	a	c	b-c	a	a	a	a	b	b	c	a
	Kanza	a	c	a	a	c	a	c	b-c	a	a	a	a	b	b	c	a

Referencias Tabla 10: (a) La fuente de polen no sincronizó con la floración femenina. (b) Sincronización parcial. Las flores masculinas proveen polen en la primera mitad de receptibilidad de las flores femeninas. (c) Sincronización parcial. Las flores masculinas proveen polen en la segunda mitad de receptibilidad de la floración femenina. (d) Buena sincronización. Las flores masculinas proveen polen durante la mayor parte del período de receptibilidad.

‘Kanza’ fue la variedad que sincronizó completamente (d) sus flores receptivas con la liberación de polen de 12 variedades de pecán. Mientras que las flores receptivas del cultivar ‘Desirable’ no fueron alcanzadas por polen de ninguna variedad durante el año de evaluación del presente estudio, al igual que la segunda mitad del periodo de flores receptivas de ‘Success’ y ‘Colby’.

3.1.2. Frutos cuajados

A partir de los datos recolectados y tal como se aprecia en la Tabla 4, se observó el cuajado de las flores en 18 variedades de pecán. La primera variedad en presentar fecundación de las flores fue ‘Hodge’ el 01 de noviembre, la segunda fue ‘Harris super’ el 08 de noviembre. El resto de las variedades presentaron cuaje de frutos desde la mitad de noviembre hasta fines del mismo mes, con excepción de ‘Colby’ que fue la variedad más tardó en cuajar (05/12). La variedad ‘Giles’ no presentó flor receptiva por caída temprana de las flores.

Tabla 4. Fecha media de frutos cuajados en pecán para distintas variedades registradas en el 2021, en el Valle Inferior de río Negro.

Variedad	Frutos cuajados	Desvío estándar (días)
Hodge	01-11	0
Harris super	08-11	3,11
Kiowa	14-11	3,16
Green river	16-11	0
Kanza	16-11	0
Oconee	16-11	5,54
Kernodle	17-11	2,81
Major	17-11	5,72
Summer	19-11	4,01
Pawnee	19-11	5,5
Starking	20-11	6,66
Success	20-11	8,67
Stuart	23-11	4,14
Lugas	24-11	0
Peruque	26-11	6,16
Osage	29-11	3
Desirable	30-11	0
Colby	05-12	7,67

3.1.3. Crecimiento del fruto

Las mediciones se realizaron desde el 30 de noviembre al 16 de mayo de 2023. A partir de los datos recolectados y tal como se aprecia en las curvas realizadas para cada variedad (Figura 13) se observa que el crecimiento se hace constante a partir del 10 de marzo hasta que finaliza la fase 1.

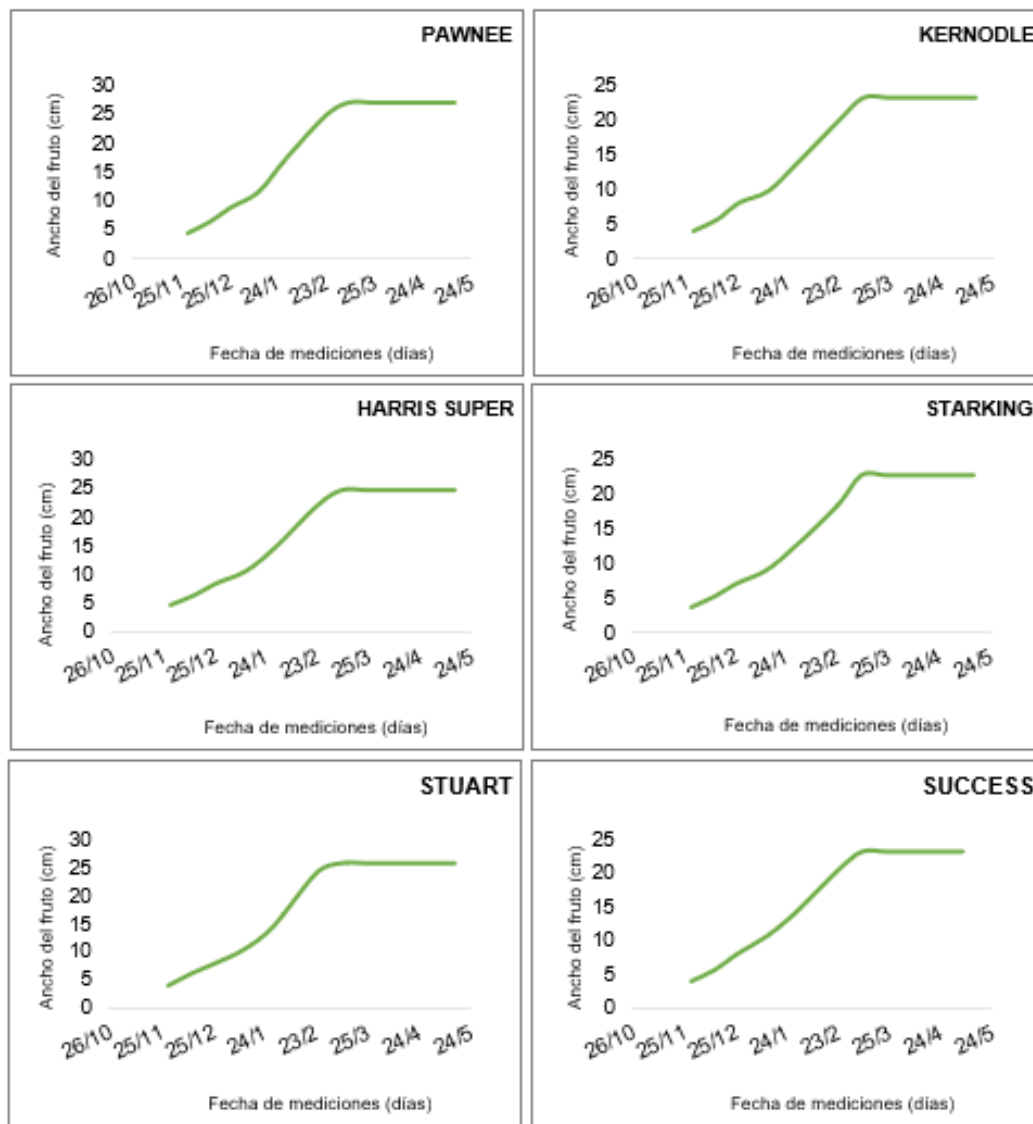


Figura 13. Evolución del crecimiento de frutos en seis variedades de pecán: 'Pawnee', 'Kernodle', 'Harris Super', 'Starking', 'Stuart' y 'Success' (Años: 2021-2022).

Luego continúa la fase 2 de llenado del fruto y, a partir de allí, no se registraron variaciones en el tamaño del fruto. En términos generales, todas las variedades mostraron un mismo ritmo de crecimiento entre el 30 de noviembre del 2021 hacia el 23 de febrero de 2022.

Las variedades ‘Pawnee’, ‘Stuart’ y ‘Harris Super’ presentaron los calibres más elevados, 27,04 mm, 25,42 mm y 24,45 mm respectivamente; mientras que ‘Kernodle’, ‘Starking’ y ‘Success’ registraron las medidas más bajas de 23,18 mm, 23 mm y 22,71 mm, respectivamente.

3.1.4. Madurez fisiológica

El análisis de los datos recolectados mostró que 16 variedades de las estudiadas alcanzaron el estadio de madurez fisiológica evidenciado a través de la apertura del ruezno. La primera variedad en madurar fue ‘Osage’ el 01 de abril, mientras que la última fue ‘Starking’ el 11 de mayo como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Fecha promedio de madurez fisiológica de dieciséis variedades de pecan en el Valle inferior del Río Negro. Año 2022.

Variedades	Fecha promedio
Osage	01-04
Lugas	03-04
Pawnee	16-04
Colby	21-04
Peruque	26-04
Harris super	28-04
Kanza	29-04
Green river	30-04
Stuart	01-05
Success	04-05
Kernodle	05-05
Major	08-05
Oconee	08-05
Summer	08-05
Kiowa	10-05
Starking	11-05
Desirable	Sin fecha

3.1.5. Senescencia (S1) y caída de hojas (S2)

El análisis de la información recolectada mostró que las variedades más precoces para senescer fueron 'Colby', 'Green river', 'Osage' y 'Kiowa', mientras que la más tardía fue 'Hodge' (Tabla 6). El resto de las variedades lo hizo en un período que va desde mediados de abril hasta la primera semana de mayo.

Tabla 6. Fecha promedio de senescencia y caída de hojas en variedades de pecán en el VIRN. Año 2022.

Amarilleo del follaje		Caída de hojas	
Variedades	Fecha promedio	Variedades	Fecha promedio
Osage	01-04	Giles	19-04
Green river	01-04	Osage	21-04
Colby	01-04	Desirable	21-04
Kiowa	01-04	Kanza	25-04
Major	08-04	Colby	27-04
Desirable	08-04	Lugas	27-04
Harris super	11-04	Harris super	02-05
Giles	21-04	Peruque	02-05
Lugas	21-04	Kernodle	03-05
Peruque	21-04	Kiowa	04-05
Kanza	21-04	Green river	05-05
Kernodle	29-04	Pawnee	05-05
Pawnee	01-05	Success	08-05
Oconee	01-05	Hodge	09-05
Starking	01-05	Oconee	11-05
Stuart	01-05	Major	13-05
Success	01-05	Starking	13-05
Summer	09-05	Stuart	13-05
Hodge	16-05	Summer	18-05

3.2. NECESIDADES DE FRÍO PARA BROTAÇÃO Y REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA FLORACIÓN

Tal como se mencionó anteriormente, el frío es un requisito necesario para la brotación de los árboles de pecán. En este sentido se pudo recabar información respecto a este parámetro para 6 de las variedades estudiadas. Como se evidencia en la Tabla 7, 'Harris super' fue la primera en brotar y presentó, según el método utilizado, una acumulación de frío de: 1046 HF, 1166 UF y 72,46 MD (porciones de frío). La variedad más tardía en brotar fue 'Success', que requirió 1103 HF, 1172 UF y 78,15 MD.

Tabla 7. Fechas medias de brotación y necesidades de frío de 6 variedades de pecán para el año 2021.

Variedades	Brotación	HF	UF	MD
Harris super	21-09	1046	1166	72,46
Pawnee	27-09	1062	1152,5	75,13
Starking	02-10	1066	1138,5	75,13
Kernodle	06-10	1080	1168,5	77,15
Stuart	07-10	1091	1183	77,20
Success	10-10	1103	1172	78,15

En cuanto a la acumulación de calor para el inicio de la floración femenina (estado IFF - Tabla 8), las variedades más tempranas en florecer (26 de octubre 'Harris super', 'Pawnee', 'Starking', 'Kernodle' y 'Success') presentaron una acumulación de calor según de 11450,2 GDH según el método MR y 11327,2 GDH según MA. La variedad 'Stuart' floreció el 01 de noviembre, y requirió 19224,6 GDH MR y 18468,0 GDH MA.

Tabla 8. Fecha de inicio de floración femenina (IFF), y acumulación de calor para 6 variedades de pecán. Año de estudio 2021.

Variedades	IFF	Método Richardson	Método Anderson
Harris super	26-10	17411,6	17179,7
Pawnee	26-10	17411,6	17179,7
Starking	26-10	17411,6	17179,7
Kernodle	26-10	17411,6	17179,7
Stuart	01-11	19224,6	18468,0
Success	26-10	17411,6	17179,7

Para el inicio de floración masculina (estado IFM- Tabla 9), las variedades estudiadas requirieron 11450,2 GDH según el método Richardson, y 11327,2 GDH por el método

Anderson, mientras que ‘Kernodle se destacó por una mayor necesidad de acumulación de calor (Tabla 9)

Tabla 9. Fecha de inicio de floración masculina (IFM), y acumulación de calor para 6 variedades de pecán. Año de estudio 2021.

Variedades	Fecha de IFM	Método Richardson	Método Anderson
Harris super	04-10	11450,2	11327,2
Pawnee	04-10	11450,2	11327,2
Starking	04-10	11450,2	11327,2
Kernodle	11-10	13042,8	12853,8
Stuart	04-10	11450,2	11327,2
Success	04-10	11450,2	11327,2

3.3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD COMERCIAL DE LA FRUTA

3.3.1. Rendimiento por planta.

A partir de los datos obtenidos de la cosecha se pudo determinar los rendimientos de 17 variedades de pecán, los mismos se expresaron en kg planta^{-1} . Tal como se ve en la Figura 14, la variedad que más rendimiento mostró fue ‘Major’, con $4,52 \text{ kg planta}^{-1}$, mientras que ‘Kanza’ la de menor, con $0,115 \text{ kg planta}^{-1}$.

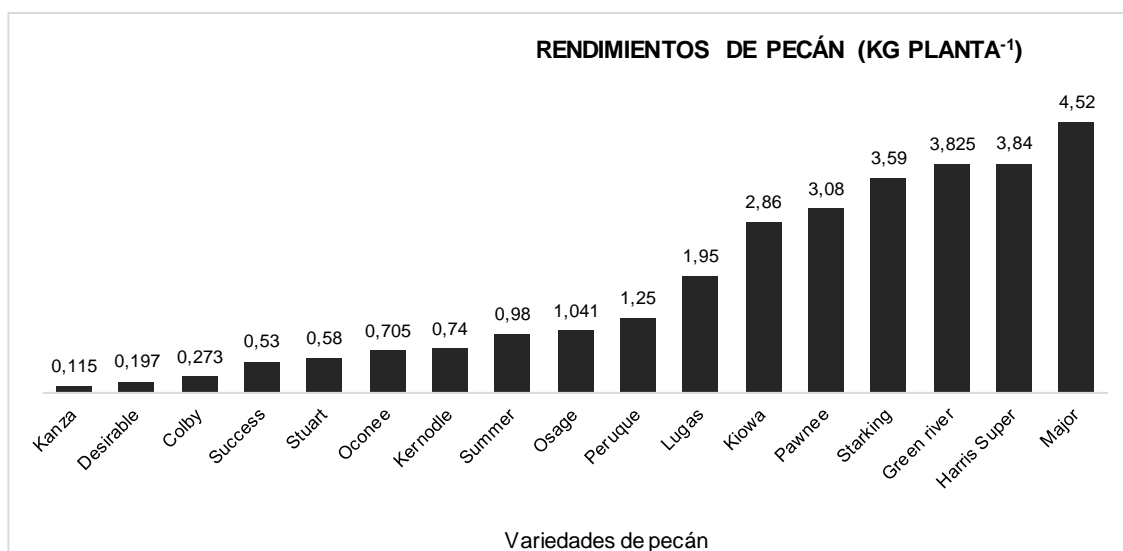


Figura 14. Rendimientos promedio por plantas de 17 variedades de pecán en el VIRN. Año: 2022.

3.3.2. Calidad comercial del fruto

Entre los parámetros de calidad del fruto, el tamaño (N° nueces kg⁻¹ y longitud) cobra un rol de importancia, así como también la humedad a cosecha, el rendimiento al descascarado, los resultados obtenidos en este trabajo se pueden ver en la Tabla 10.

Tabla 10. Número de nueces por kilogramo, porcentaje de humedad del fruto y rendimiento al descascarado de 17 variedades de pecán en el VIRN. Temporada 2021-2022.

Variedades	N° nueces.kg ⁻¹	Humedad del fruto (%)	Rendimiento al descascarado (%)	Largo del fruto (mm)
Starking	134	6,03	53,14%	4,28
Harris Super	126	4,73	50,87%	5,43
Pawnee	191	5,95	54,46%	3,37
Major	167	6,27	52,89%	3,26
Kiowa	121	3,77	51,06%	3,05
Green river	218	4,83	54,72%	1,60
Kernodle	149	5,46	44,22%	3,06
Lugas	236	4,00	55,43%	1,23
Stuart	130	9,33	43,42%	1,79
Oconee	155	4,62	46,32%	1,75
Peruque	252	5,36	53,91%	1,20
Success	128	7,66	47,59%	1,64
Osage	282	7,76	49,55%	2,36
Summer	136	4,19	46,95%	3,83
Colby	224	4,97	58,47%	5,45
Kanza	162	3,87	53,81%	4,32
Desirable	393	1,44	34,57%	1,41

El porcentaje de humedad del fruto fue variable según la variedad, los valores más altos fueron los de ‘Stuart’ con un 9,33%, y más bajos en ‘Desirable’, con una humedad de 1,44%.

El rendimiento al descascarado fue mayor para la variedad ‘Colby’ con un 58,47%, mientras que el menor valor fue el de la variedad ‘Desirable’ con 34,57%.

Otro atributo de calidad de fruto es el número de nueces kg⁻¹. En base a la clasificación establecida por SENASA (2014), los frutos de las variedades estudiadas se catalogaron como:

- Gigantes: ‘Kiowa’
- Extragrandes: ‘Harris super’, ‘Starking’, ‘Stuart’, ‘Success’ y ‘Summer.’
- Grandes: ‘Major’, ‘Kernodle’, ‘Oconee’ y ‘Kanza’

- Medio: 'Pawnee'
- Pequeño: 'Green river', 'Lugas', 'Peruque' y 'Colby'.
- 'Osage' y 'Desirable', obtuvieron valores muy bajos y se consideran frutos de tamaño inferior.

4. DISCUSION

A continuación, se discuten los resultados expuestos en el apartado anterior.

4.1.1. FENOLOGÍA Y FENOMETRÍA

4.1.1.1. Desarrollo vegetativo

Brotación

La brotación de todas las variedades bajo estudio estuvo comprendida en el período que va desde el 21 de septiembre al 17 de octubre del 2021. Al tener en cuenta que la fecha media de última helada para el Valle Inferior correspondiente a los últimos 15 años es el 06 de octubre, con una desviación típica de ± 17 días, se puede inferir que las primeras variedades en brotar serían las variedades que se encuentran más expuestas o con riesgo a sufrir daños por heladas primaverales o tardías en el caso que las hubiera. Es importante destacar que los resultados obtenidos brindan información de referencia para la zona. Sin embargo, requieren de su análisis en el tiempo dado que en este caso son válidos para el año de estudio y en el caso particular de la fecha de brotación, la misma puede variar año a año.

El período donde el pecán comienza a ser más susceptible a las bajas temperaturas es cuando las escamas externas e internas se abren para luego comenzar la expansión de las hojas (V3 a V5). De producirse daños en este estadio se activan las yemas laterales, y se genera una brotación despereja y una disminución en la producción. Tarango Rivero (2012), menciona que si las fechas de brotación se adelantan por aplicaciones de cianamida hidrogenada se exponen los árboles a daños por heladas. Godoy (2000), señala que los brotes primarios pueden sufrir daños por heladas y también la consecuente pérdida de producción de amentos dado que una vez que se destruyen las yemas primarias, las secundarias o terciarias solo pueden producir flores femeninas, lo que disminuye la oferta de polen. En Sparks (1992), se observaron anomalías en la floración femenina por exposición a bajas temperaturas desde $-1,7$ a $-2,2^{\circ}\text{C}$ 10 días antes de que ocurra la brotación.

Durante el 2021 no se registraron heladas durante el período de brotación, sin embargo, se registraron temperaturas mínimas de 0,7°C y de 4°C en los meses de octubre y noviembre respectivamente, las cuales generaron daños en algunas hojas ya expandidas de los árboles estudiados. Si se consideran los registros históricos (1965-2018) de temperaturas mínimas entre septiembre y octubre las mismas fueron de 4,4°C y 7,3°C. Esto indica que este parámetro durante el período de estudio se encuentra por debajo de estos valores.

La época de brotación depende de la variedad, y la diferencia en días puede ser muy amplia entre la primera y última variedad en brotar. En este estudio la diferencia fue de 26 días entre la variedad más temprana ('Harris Super') y la más tardía ('Giles'). Basado en estos resultados, se aprecia una elevada plasticidad de los materiales evaluados que permite seleccionar según las condiciones ambientales y productivas entre las que brotan tempranamente y/o en forma tardía. Resultados similares se obtuvieron en el estudio de variedades de pecán realizado por Delgado & Carabajal (2018) en Catamarca, donde la brotación duró 30 días, inició desde los primeros días de septiembre a primeros días del mes de octubre. En Uruguay, en la localidad de Salto Grande, la brotación de la temporada 2015/2016 comenzó el 15 de septiembre en las variedades 'Desirable', 'Pawnee', 'Starking', 'Stuart' y 'Success' (Pallante Alfaro & Pérez Graña, 2019).

4.1.2. Desarrollo reproductivo

4.1.2.1. Floración masculina

a. Inicio de floración masculina y elongación de amentos (IFM Y EA)

El inicio de la floración masculina y la elongación de amentos ocurrió el 6 de octubre en las variedades más tempranas y el 16 de noviembre del 2021 en las más tardías, 41 días de diferencia entre ellas.

Al tener en cuenta que la fecha media de última helada en el VIRN, es el 06 de octubre \pm 17 días, las primeras variedades en iniciar la floración presentarían un mayor riesgo de sufrir daño por bajas temperaturas. Sparks (1992), confirma daños en amentos expuestos a bajas temperaturas (-1°C), los cuales mostraron oscurecimiento de las partes dañadas.

El período de elongación de amentos influye en el inicio de la polinización dado que una duración mayor de la misma implicaría un letargo en la liberación de polen (R2). Según Frusso (2007), la elongación de amentos inicia desde la primera a la tercera semana de octubre para la región del Delta del Paraná. Zoppolo *et al.* (2016) mencionan que el período de elongación de amentos también puede variar de acuerdo a las variedades de pecán

utilizadas, a las condiciones climáticas del año y, además, puede verse afectada por las condiciones nutricionales e hídricas.

b. Liberación de polen (LP)

La época de liberación de polen se inició el 27 de octubre en la variedad más temprana y finalizó el 25 de noviembre en la variedad más tardía, 28 días de emisión de polen teniendo en cuenta el conjunto de variedades bajo estudio. Fue mayor en ‘Success’ con una duración de 23 días y mínima para ‘Kanza’ con un período de 5 días.

Según Frusso (2007), en el Delta del Paraná, la liberación de polen (R2) ocurre desde la última semana de octubre a la segunda semana de noviembre, mientras que en la provincia de Catamarca en el estudio de variedades de Delgado & Carabajal (2018) ocurrió del 3 al 17 de octubre, con una duración de 14 días para ‘Desirable’, 8 días para ‘Pawnee’, ‘Stuart’ y ‘Kiowa’. En Uruguay (Zoppolo *et al.*, 2016), la liberación de polen ocurrió desde el 24 de octubre al 25 de noviembre similar a lo ocurrido en el VIRN. Sin embargo, se aprecian diferencias en los períodos de liberación de polen, por ejemplo ‘Desirable’, ‘Starking’ y ‘Stuart’ presentaron un período de 14 días, mientras que la más tardía, fue ‘Success’, con 7 días de liberación con respecto al VIRN. En este sentido, la importancia de saber el período en que los amentos liberan el polen radica en la disponibilidad del mismo para la polinización y fecundación de las flores femeninas. Es importante para no afectar la potencial producción al solapar este estadio entre las distintas variedades y, de esta forma, cubrir aquellos períodos caracterizados por la falta de polen. Esto último se ve reflejado en problemas en la polinización, que provocan reducciones en el rendimiento (Wood, 2000).

4.1.2.2. Floración femenina

a. Inicio de receptividad de estigma (IRE) y fin de la receptividad (FRE).

La floración femenina puede iniciar antes o después de la floración masculina y la receptividad de la misma puede ser anterior o posterior a la liberación de polen. En este estudio, el inicio de la floración tuvo lugar desde el 27 de octubre, hasta fines de noviembre. Resultados similares se obtuvieron Borda *et al.* (2020), donde la floración de ‘Pawnee’, ‘Stuart’ y ‘Desirable’ se inició en la tercera semana de octubre, finalizó en la primera semana de diciembre.

El inicio de receptividad de las flores (IRE) se dio en el VIRN desde la segunda semana de noviembre a la primera de diciembre. Mientras que, en la provincia de Catamarca, la misma se produjo desde el 03 al 25 de octubre, con diferencias de 20 a 30

días en las variedades ‘Pawnee’, ‘Stuart’, ‘Desirable’ y ‘Kiowa’ (Delgado & Carabajal, 2018). Frusso (2007) reportó fecha de floración desde el 24 de octubre al 10 de noviembre para el Delta del Paraná, mientras que desde el INIA ‘Las Brujas’, se informó receptividad desde el 10 de octubre al 05 de noviembre, con ‘Success’ como primera variedad en presentar IRE.

Por la misma razón que es necesario conocer el momento en que las distintas variedades polinizan, también es necesario conocer la época de flores receptivas, para poder elegir variedades adaptadas a la zona y a las temperaturas críticas. Borda *et al.* (2020), mencionan que la mala diagramación de la plantación produce mermas en los rendimientos.

Las flores de la variedad ‘Giles’ se cayeron tempranamente por lo que no llegaron a la etapa de receptividad. Cabe destacar que, de los 4 individuos de dicha variedad, solo una floreció. Este comportamiento sugiere que esta variedad podría haber sido afectada por las condiciones climáticas durante temporada de estudio.

La receptividad del estigma puede acortarse por desecamiento de su superficie si hay baja humedad relativa (<50%) (Zoppolo *et al.*, 2016). Humedades relativas de esta magnitud se pueden encontrar en el VIRN, por lo que podría ser la causal de períodos de receptividad estigmática corta en algunas variedades como ocurrió en ‘Kanza’, ‘Major’ y ‘Harris super’.

a. Dicogamia: liberación de polen y receptividad de estigma

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de las floraciones femeninas y masculinas, podemos concluir que, de las 19 variedades estudiadas, 16 de ellas llegaron a la madurez en ambas floraciones (Figura 12). Un total de 7 variedades fueron protóginas y 9 variedades, protándricas. Resultados similares se obtuvieron en estudios realizados en Georgia (Estados Unidos) por Wells & Conner (2009), ‘Stuart’, ‘Kiowa’ y ‘Kanza’ tuvieron floración protoginia mientras que ‘Pawnee’, ‘Oconee’, ‘Kiowa’ y ‘Desirable’ presentaron protandria. En Catamarca, el estudio varietal de ‘Stuart’, ‘Pawnee’, ‘Desirable’ y ‘Kiowa’ realizado por Delgado & Carabajal (2018), también presentó coincidencias en el comportamiento con las estudiadas en el Valle Inferior. Sin embargo, hubo diferencias en ensayos realizados por Zoppolo *et al.* (2016) en Las Brujas (Uruguay), la variedad ‘Stuart’ y ‘Kiowa’ se comportaron de manera protándricas y ‘Success’ como protógina. Por lo expuesto, se podría suponer que la dicogamia puede variar según las condiciones climáticas o bien por la genética misma de las variedades de pecán. Esto último se ha visto respaldado en resultados obtenidos por Thompson (1985), donde menciona que la protoginia está gobernada por genes dominantes (P-) y la protandria está dada por genes recesivos (pp), por lo que las variedades que presentan un comportamiento diferente como ‘Stuart’, ‘Kiowa’

y 'Success' podría deberse a especímenes recesivos, progenie de padres heterocigotos. Borda *et al.* (2020), mencionan que cambios en la dicogamia pueden deberse a condiciones inherentes al árbol, como su edad o tamaño (Adriance, 1931; Wood, 2000; citado en Borda *et al.* 2020).

La polinización cruzada es un aspecto muy importante a la hora de diagramar el monte frutal de pecán y se debe ajustar a las variaciones anuales de las fechas de madurez floral (Zoppolo *et al.*, 2016). Se busca promover el entrecruzamiento de las variedades de modo de reducir la autopolinización y los efectos negativos que esta ocasiona, como por ejemplo la caída de frutos entre otros (Borda *et al.*, 2020).

Los resultados de la sincronización de la liberación de polen con la receptividad de las flores femeninas de las variedades bajo estudio en el VIRN nos indican que para la temporada en estudio hubo un elevado grado de solapamiento de emisión de polen y flores receptivas. La disponibilidad de polen se dio desde fines de octubre hasta la última semana de noviembre, un período de 28 días. Sin embargo, se registró un período, donde hubo flores receptivas sin polen disponible para ser fertilizadas. Estas flores correspondieron a la última fracción de flores receptivas de las variedades 'Colby' y 'Success', y la totalidad de las mismas de 'Desirable', las cuales no coincidieron con la liberación de polen de ninguna variedad de pecán en estudio. Resultados similares se obtuvieron en el trabajo de estudio varietal de Conner (2021), donde 'Desirable' no recibió polen de otras variedades, pero si su liberación de polen coincidió con la mayoría de las flores receptivas. Si bien no hay variedades polinizadoras y productoras, dicha variedad puede ser considerada como buena fuente de polen en la zona.

4.1.3. Crecimiento de los frutos

Las mediciones del crecimiento ecuatorial permiten determinar cuál fue el período de elongación de frutos (Fase 1) y estipular, aproximadamente, cuándo comenzó el momento de llenado del mismo (Fase 2). La evolución del crecimiento de los frutos mostró una curva sigmoidea, llegó a estabilizarse hacia la segunda semana de marzo 2022. Resultados similares se obtuvieron en Godoy Ávila (1996), donde el crecimiento transversal de los frutos se hizo constante en un período de aproximadamente de 90 a 97 días desde la receptividad del estigma y, luego se dio lugar al comienzo de la fase 2 de llenado de fruto. Esta última fase se alcanzó el 19 de marzo y tuvo una duración de 55 días. En Pallante Alfaro & Pérez Graña (2019) esto sucede el 24 de marzo para la localidad de Las Brujas (Uruguay). Cabe

destacar que estos valores no se pueden extrapolar de una región a otra y también pueden variar según las condiciones ambientales y de manejo del año.

En cuanto a la fase 2 en el presente trabajo, se podría inferir que la misma sucede desde el 10 de marzo hasta la madurez fisiológica. Por lo que 'Pawnee' tuvo un crecimiento de frutos de 148 días en total, 111 días correspondieron a la etapa 1 y 37 días a la etapa 2 de llenado de fruto. En Godoy Ávila (2000), se menciona que la etapa 2 del llenado de fruto tiene una duración de 55 días, por lo que el llenado de 'Pawnee' se vio reducida en 18 días; esto puede implicar que sus semillas sean de menor peso. De todas formas, se necesitarían ampliar las investigaciones para determinar fehacientemente los estadios del fruto de grano acuoso-gel y pastoso.

4.1.4. Madurez fisiológica

La madurez fisiológica es la etapa fenológica (R11) que nos indica que el fruto está preparado para ser cosechado y también el momento en que el árbol se prepara para recuperar reservas antes del reposo invernal dado por la senescencia. Consiste en la dehiscencia o rajado del pelón y su separación de la cáscara.

La madurez fisiológica se manifestó en un período de 41 días, desde el 01 de abril al 11 de mayo del 2022. 'Kiowa' y 'Starking' fueron las más tardías, mientras que las más precoces fueron 'Osage' y 'Lugas', con una diferencia muy marcada en días. La separación de la nuez del ruzno depende de factores relacionados al clima y a la morfología de la nuez. (Herrera, 1983; citado en Godoy Ávila 2000 p 19). La variedad 'Desirable' presentó frutos en la parte alta de la copa del árbol, hecho que dificultó la recolección de esta información.

4.1.5. Senescencia: Amarilleo del follaje (S1) y Caída foliar (S2)

El amarilleo y la caída de hojas son en conjunto la última etapa por la que pasa el árbol de pecán antes de entrar en reposo invernal. Se denominan S1 y S2 respectivamente (Frusso, 2007).

El amarilleo del follaje comenzó el 01 de abril, coincidió con la madurez fisiológica de la nuez en la variedad 'Osage', finalizó el 16 de mayo del 2022 en 'Hodge' la variedad más tardía. La caída de hojas comenzó el 19 de abril en la variedad 'Giles', y finalizó el 18 de mayo con la variedad 'Summer'. Estos estadios (S1 y S2) tuvieron una duración de 46 y 29 días respectivamente. Resultados anticipados obtuvo Felipe (2014) en la localidad de Villa María (Córdoba), donde la etapa S1 comenzó a mediados de marzo y terminó a mediados

de abril; mientras que la etapa S2 fue similar al VIRN, la cual comenzó a mediados de abril y finalizó a fines de mayo.

Frusso (2017) reportó para la zona del Delta del Paraná, que el período S1 alcanza un 20% en la primera y segunda semana de junio, la cual difirió en 60 días con respecto al inicio en el VIRN. Con respecto a S2, la misma se inició cuando se cayó el 20% de las hojas, a fines de junio y mediados de julio. Se observa una diferencia de 60 días aproximadamente con el inicio en nuestra zona.

Delgado & Carabajal (2018), obtuvieron resultados diferentes para la provincia de Catamarca para S1 con fecha de inicio el 24 de mayo y de finalización el 18 de junio. Mientras que la etapa S2 se produjo desde la segunda semana de junio a la primera de julio, aproximadamente dos semanas de duración.

El adelantamiento de la senescencia en nuestra zona podría deberse a las menores temperaturas registradas en ese período con respecto a las zonas de Catamarca y Delta del Paraná.

La fecha media de caída de hojas y de madurez fisiológica de los frutos nos permite estimar el tiempo que tiene cada variedad de pecán de generar reservas nutricionales para el crecimiento y la producción de la siguiente temporada (Anexo VIII). En este sentido, las variedades que mayor tiempo de recuperación de reservas presentaron fueron 'Lugas', 'Osage' y 'Pawnee' (20, 24 y 19 días, respectivamente), seguidas por 'Summer' y 'Stuart' (10 y 12 días); mientras que el resto de las variedades tuvieron entre 1 y 5 días, incluso hubo variedades que no tuvieron tiempo de recuperación dado que la madurez fisiológica sucedió después de la caída de hojas ('Kanza', 'Kernodle' y 'Kiowa').

Conocer la dinámica de la senescencia sirve para poder planificar un mejor manejo agronómico del monte frutal. Por ejemplo, aquellas variedades que tuvieron menor tiempo entre madurez fisiológica y caída de hojas probablemente necesiten una mayor fertilización para evitar alternancia en la producción, mientras que aquellas que retuvieron mayor tiempo sus hojas reducirán este requerimiento nutricional. A pesar de ello, se recomienda realizar muestreos tanto foliares, así como también de suelo para determinar los requerimientos nutricionales de las plantas, ya que, la nutrición, es uno de los factores más importantes que influyen en el crecimiento y producción (Giuffré *et al.*, 2011).

4.2. Necesidades de frío para brotación y requerimientos de calor para floración

Se analizaron los requerimientos de horas frío para la brotación en el período 2021, 'Harris super', primera en brotar, presentó los siguientes requerimientos 1046 HF, 1166 UF y 72,46 MD. La variedad más tardía en brotar fue 'Success', la cual requirió 1103 HF, 1172 UF y 78,15 MD.

En Fuente *et al.* (2023), se analizaron los requerimientos de horas frío para brotación de 4 variedades de pecán en el VIRN durante 6 años de estudio. Obteniéndose para 'Harris Super' como fecha promedio de brotación el 31/09 y 1259 HF, mayor en 200 horas comparada con la temporada en estudio 2021 (fecha de brotación 21/09). También hubo diferencias con los modelos UF y MD, los cuales resultaron menores en la temporada 2021. Probablemente estas diferencias se deban a las condiciones térmicas del año de evaluación.

Respecto de los requerimientos de calor para las floración femenina y masculina los valores obtenidos a través de los dos métodos de acumulación en el presente trabajo fueron menores a los obtenidos en Fuente *et al.* (2023). En cuanto a la floración femenina hubo diferencias con respecto a la fecha media de la misma mientras que en el 2021 la floración se inició de 12 a 17 días antes, necesitó menos horas de calor que en el promedio de 6 años (2015-2020). Un patrón similar fue observado en el proceso de floración masculina.

4.3. Comportamiento productivo y determinación de la calidad comercial

En cuanto a producción por planta, la variedad que obtuvo mayor rendimiento fue 'Major' con 4,52 kg planta⁻¹, siguieron, con rendimientos de entre 3,84-2,86 kg planta⁻¹ 'Kiowa', 'Pawnee', 'Starking', 'Green river' y 'Harris super'. En cuanto a los rendimientos acumulados, 'Starking' fue la variedad que presentó mayor rendimiento (7 plantas de esta variedad produjeron nueces). Las diferencias en productividad podrían deberse a la precocidad que es característica de cada variedad (Graukel & Thompson, 2013. citado en Felipe, 2014).

En la provincia de Tucumán, Mitrovich *et al.* (2019) obtuvieron rendimientos promedios superiores en 'Harris super' (planta de 10 años), 8,21 kg planta⁻¹, mientras que en 'Pawnee' (6 años) obtuvieron rendimientos inferiores de 2,27 kg planta⁻¹. La variedad 'Pawnee' en el VIRN tiene 15 años de edad y produjo 3,08 kg planta⁻¹, por lo que sus rendimientos son mayores debido a que el pecán aumenta su producción a medida que madura, y alcanza la plena producción a los 15-16 años de edad (Frusso, 2007; Mitrovich, 2020).

Con respecto al tamaño de los frutos, en el VIRN, los frutos de mayor longitud correspondieron a 'Major', pero los frutos de 'Harris super', 'Kiowa', 'Starking' presentaron buen tamaño para una nuez de mesa, con valores entre 39,75 mm a 37,18 mm. Las nueces de las variedades 'Lugas', 'Desirable', 'Osage' y 'Kernodle' fueron de menores tamaños y podrían ser utilizadas para industria. En general se obtuvieron frutos desde tamaños extragrandes a pequeños y dos variedades dieron frutos que no alcanzan los estándares de clasificación por tamaño (SENASA, 2014). Cambareri & Frusso (2022) mencionan que el cultivar que mayor tamaño de nuez en la EEA INTA Balcarce fue 'Starking', mientras que 'Stuart', 'Osage' y 'Pawnee' lograron tamaños medianos de nueces.

Los porcentajes de rendimiento al descascarado fueron superiores en 'Colby' (58,47%), seguido por 'Lugas' (55,43%), 'Green river' (54,72%), 'Pawnee' (54,46%) y 'Peruque' (53,91%). Los menores rendimientos al descascarado se obtuvieron de 'Desirable' (34,57%), esto podría deberse a que esta variedad tuvo un periodo de receptividad que no coincidió con la liberación de polen de ninguna variedad en estudio y, además, obtuvo rendimientos muy bajos (0,197 kg planta⁻¹) de frutos que se produjeron en la parte alta del árbol, por lo que habría tenido también un menor período de llenado de frutos. En Carroll & Smith (2017), obtuvieron rendimientos al descascarado de 58% en 'Pawnee' '59% en Peruque' y 45% en 'Colby' en la región de Oklahoma. Estos valores pueden variar año a año dado que dependen de la nutrición de los árboles y de los factores climáticos (Weiss & Conner, 2019).

5. CONCLUSIONES

Estos resultados permitieron concluir que la mayoría de las variedades estudiadas completaron su ciclo productivo bajo las condiciones agroecológicas del VIRN para la temporada 2021/22.

La especie presentó elevada plasticidad en el desarrollo vegetativo, lo que permitiría elegir entre un amplio rango de variedades de brotación temprana y tardía a modo de reducir el riesgo por heladas.

Los resultados del desarrollo reproductivo mostraron una buena sincronización de la liberación de polen (R2) y receptividad estigmática (R3) desde el 31 de octubre al 23 de noviembre. La variedad 'Lugas' no emitió polen, mientras que 'Giles' no presentó receptividad de estigma.

Las necesidades de frío para brotación y de calor para floración fueron satisfechos para la temporada en estudio.

Del estudio del crecimiento de los frutos, madurez fisiológica y senescencia, se obtuvo una aproximación a las fases de crecimiento y reposo del árbol. Esto permitiría realizar una mejor gestión del manejo (fertilización estratégica, riego, etc.) y una planificación de la cosecha, lo cual reduciría la alternancia productiva entre años por agotamiento de reservas.

Las variedades más promisorias para el año de estudio, por su mejor comportamiento productivo, fueron 'Major', 'Harris super', 'Green river' y 'Starking'. El período de brotación a cosecha por parte de estas variedades fue de 225 días, 219 días, 209 días y 222 días respectivamente, mientras que el período libre de heladas del 2021/2022 fue de 227 días. Esto nos indica que el ciclo productivo se completó sin daños por heladas para la mencionada temporada.

La calidad de las nueces fue satisfactoria. Se obtuvieron frutos desde extra grandes a pequeños, con porcentajes de humedad entre el cinco y siete por ciento (5-7%), los cuales no necesitarían secado a excepción de 'Stuart' (9%). En cuanto al rendimiento al descascarado, los porcentajes de semillas fueron elevados, se destacaron 'Colby', 'Lugas', 'Green river', 'Pawnee' y 'Peruque'.

Este estudio brinda las bases iniciales de parámetros fenológicos de las distintas variedades de pecán bajo las condiciones agroclimáticas del VIRN. Sin embargo, es necesario continuar con la evaluación y seguimiento de los distintos parámetros analizados, debido a posibles variaciones interanuales del pecán, para poder obtener un manejo local de la plantación más ajustado a la zona.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Berasategui, L. (2002).** Estadísticas climáticas del valle de Viedma. Información técnica N° 20. año 1, N°2. ISSN: 1666-6054. 70 p.
- Bischoff, N. (2020)** Sector pecanero argentino. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sector-pecanero-argentino-oct-2020.pdf>
- Borda, M. P. Pescie, M. A. Mollá Kralj, A. Otero, E. López, C. G. (2020).** Fenología del pecán: resultados preliminares sobre el comportamiento floral en el centro-norte de la provincia de Buenos Aires. Revista Facultad de Agronomía. Volumen 119 (2): 1-5. <https://doi.org/10.24215/16699513e047>
- Bouhier, R. & Martin, D. (2016).** Evaluación varietal de Pecán en el Valle Inferior del Rio Negro. Memoria técnica 2013-2015. Pág. 56-57. Edición INTA. Estación Experimental VIRN. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_memoria_tecnica.pdf
- Brandán, L. & Paz, J. (2015).** Plan de mejora competitiva. Clúster de Nuez pecán. 42 pág. <https://www.clusterdelanuezpecan.net>
- Cambarieri, S. & Frusso, E. (2022).** Adaptabilidad y crecimiento de variedades de Pecán en el Sudeste Bonaerense. Revista Visión Rural. Páginas 46-48, Año XXVIII. N° 140. Disponible: https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11174/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Cambareri_S_Adaptabilidad_crecimiento_variedades_pecan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carciofi, I., Guevara Lynch, J. P., Cappelletti, L., Maspi, N., López, S. (2021).** Economías regionales: red de actores, procesos de producción y espacios para agregar valor. Consejo para el cambio estructural. Ministerio de Desarrollo Productivo. ISSN 2718-8124. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_10_-_economias_regionales.pdf
- Carrol, B. & Smith M. (2017).** Pecan varieties for Oklahoma. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University. id: HLA-6201. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/pecan-varieties-for-oklahoma.html?Forwarded=pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1027>
- Clúster de la nuez pecán (2015).** Plan de mejora competitiva. Mnisterio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 42 p. www.clusterdelanuezpecan.net Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/09_plan_de_mejora_competitiva_-_cluster_de_la_nuez_pecan.pdf

- Conti, H., Moschini, R., Abatte, C., Frusso, E., y Cazenave, G. (2008).** Zonificación agroclimática del pecán en región Pampeana y Noreste Argentino. XII Reunión Argentina de Agrometeorología, 8. INTA CIRN. Disponible: <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/236.htm>
- Conner, P. J. (2021).** Pollination compatibility chart for pecan cultivars in Georgia. Universidad de Georgia. 2 p. Disponible: <https://pecanbreeding.uga.edu/content/dam/caes-subsite/pecan-breeding/docs/cultivar-list/2021-Pollination-Compatibility-Chart.pdf>
- Dabul, M. (2007).** Enfermedades del nogal pecán presentes en Argentina y su control. En: Producción de pecán en Argentina. EEA Agropecuaria INTA Delta del Paraná (INTA). Buenos Aires, Argentina. Cap XV. Pp 1-12
- Delgado, E. & Carabajal, D. (2018).** Evaluación fenológica del nogal pecán en la provincia de Catamarca. Revista del CIZAS 19 (1 y 2): 7:15. Disponible: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CIZAS/imagenes/pdf/V19/1.%20Delgado-Carabajal.pdf>
- Descalzo, D. Biolatto, A., Rizzo, S. A. Pérez, C., Frusso, E. A., Carduza, F., Rossetti, L. (2021).** Oxidative stability parameters and sensory properties of in-shell "Stuart" pecans [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch] stored at different temperatures under non-accelerated conditions, *Postharvest Biology and Technology*. ISSN 0925-5214. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111591>
- Doreste, P. (2014).** Alimentos Argentinos, Secretaría de Agricultura Ganadería y pesca. Nación Argentina. 11 p. Disponible: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/frutasecas/informes/NuezPecan_2011_06Junio.pdf
- Fasiolo C. (2016).** Manejo del cultivo de pecán. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) - Estación experimental Las Brujas, Uruguay. Disponible: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6721/1/Manejo-del-cultivo-Fasiolo2016.pdf>
- Felipe, F (2014).** Seguimiento fenológico y caracterización del crecimiento de nuez pecán (*Carya illinoensis*) en Villa María (Córdoba), en la temporada 2011/12. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de agronomía y veterinaria. 47 p. <https://repodigital.unrc.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/73663/73663.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Frusso E. A. (2007).** Características morfológicas y fenológicas del pecán. En: Producción de pecán en Argentina. EEA Agropecuaria INTA Delta del Paraná (INTA). Buenos Aires, Argentina. 1-13. Consultado en biblioteca EEA INTA Valle Inferior.

- Fuente, G. E. Martin, D. M. Gallo, S. L. del Barrio, R. A (2022).** Requerimientos térmicos para brotación y floración del pecán (*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch) en el Valle Inferior del Río Negro. E.E.A. Valle Inferior del río Negro, INTA. Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Viedma. XIX Reunión Argentina de Agrometeorología.
- Giuffré, J. Zubillaga, M. Romaniuk, R. Ríos, R. Hilding Olson, M (2011).** Fertilización de base en un cultivo ideal de pecan con dos marcos de plantación de alta densidad. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Ciencia del Suelo (Argentina) 29 (1): 91-97. Disponible: <http://ref.scielo.org/vbfczq>
- Godoy Ávila, C. (1996).** Crecimiento y desarrollo del fruto pecanero (*Carya illinoensis* K.) Cv Western y su relación con unidades de calor, evapotranspiración y días. CIFAP – Comarca Lagunera, México. ITEA, Vol. 92V N°2, 49-57. Disponible en: https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/1996/92V-2/92V-2_01.pdf
- Godoy Ávila, C. (2000).** Tecnología de riego en nogal pecanero. Coahuila, México. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. SAGARPA-INIFAP. 113 P. Disponible en: <https://idoc.pub/queue/tecnologia-de-riego-en-nogal-pecanero-x4e6zvr10mn3>
- Gómez, L. A., & Cruzate, G. A. (2007).** Aptitud de los suelos argentinos para el pecán (*Carya illinoensis*). Buenos Aires INTA - FAUBA. 9 p. Disponible: https://aws.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Gomez.pdf?op=d&ticket_id=10719&evento_id=22263
- Grassi, A. L. (2017).** Nueces Pecán. Ideas para la mejora de la calidad del producto en la Argentina. Disponible: <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/281>
- Hurrell, J. A. Delucchi, G. Keller, H. A. (2011).** *Carya illinoensis* (Juglandácea) adventicia en la Argentina. Bonplandia 20(1). ISSN: 0524-047. Disponible: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/3066>
- INTA (2018).** Ficha técnica del pecán. Instituto de Recursos Biológicos (CIRN). 6 p.
- INTA (2019).** Informe climático del Valle Inferior de Río Negro, período 1965-2018. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria. IDEVI, Viedma. 16 p.
- International Nut & Dried Fruit (INC) (2021).** Nuts & dried fruits - Statistical yearbook 2020/2021. Disponible: <https://inc.nutfruit.org/>
- Lemus, G. (2004).** El cultivo del pecano. Ministerio de Agricultura. INIA- La Platina. Fundación para la innovación Agraria (FIA). 22 pp. Disponible: <http://docplayer.es/18808900-Proyecto-fia-n-c-96-i-1-025.html>

- Madero, E., & Frusso, E. (2009).** La nuez pecán en Argentina. Curso sobre Pecán. INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Las Brujas. Uruguay. Disponible: http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_14052013094301.pdf
- Madero, H. Trabichet, F. Pepé, F. Wright, E. (2016).** Manual de manejo del huerto de nogal pecán. Edición INTA. EEA Delta del Paraná. Buenos Aires, Argentina. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5792>
- Mancilla Toro, G. (2020).** Proyecto para la exportación de frutos secos. Tesis de maestría. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Económicas. Disponible: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/124022>
- Medina M, M. Medina M, E. Aguilar Pérez, J; García Garza, S (1999).** Aspersiones foliares de manganeso y cobre en nogal pecanero. Terra Latinoamericana, Vol. 17 n°4. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A.C. Chapingo, México. Pp 317-323. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317406.pdf>
- Mitrovich, N., Valdez, I., Aranda, N., Figueroa, D., Athayde Moncorvo Collado, G., Salas López, H. (2019)** Pecán, alternativa de diversificación para Tucumán, resultados preliminares. Sección fruticultura EEAOC. 6 p. Disponible: <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2020/01/403-06Fruticultura.pdf>
- Miyamoto S., & Monte Nesbitt, L. (2011).** Effectiveness of soil salinity management practices in basic irrigated pecan orchards. Hort. Technol. 21: 569-576. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/289025726_Effectiveness_of_Soil_Salinity_Management_Practices_in_Basin-irrigated_Pecan_Orchards
- Monte Nesbitt, L., Stein, L., Kamas, J. (2013).** Improved Pecans. Texas Fruit and Nut Production. Texas A&M Agrilife Extension. Texas, Estados Unidos. Disponible: https://aggie-horticulture.tamu.edu/fruit-nut/wp-content/uploads/sites/6/2015/04/pecans_improved_2015.pdf
- Moya, M., & Ras, C. (2011).** “Intercambio de experiencias y la búsqueda de solución a problemas específicos en la producción de nogal pecán en la provincia de Buenos Aires”. Cátedra de Extensión y Sociología Rurales & Cátedra de Administración Rural. FAUBA, Argentina. pp 1-12. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/320064868_UN_NUEVO_PERFIL_DE_PRODUCTORES_DE_NOGAL_PECAN_Carya_illinoensis_LOS_PRODUCTORES_HOBBY
- Musi Saluj, C. A. (2022).** Datos meteorológicos del Valle Inferior del río Negro – Período 1965-2021. E.E.A Valle Inferior INTA. Disponible:

https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/12447/INTA_CRPatagoniaNorte_EEAValleInferior_MusiSaluj_CA_Datos_agroclimaticos_Valle_inferior_1965_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Orona Castillo, I. Sangerman-Jarquín, D. M. Fortis Hernández, M. Vázquez Vázquez, C. Gallegos Robles, M. Á. (2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 4, núm. 3. pp. 461-476. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300010

Pallante Alfaro, A. & Pérez Graña, A. (2019). Estudio fenológico de nuevas variedades de Pecán "*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch". Tesis de grado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29538>

Prinsich, A. V. (2021). Generación de un modelo y plan de negocios para un emprendimiento de producción y comercialización de nueces pecán. Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Económicas; Argentina. Disponible: <https://hdl.handle.net/11185/6316>

Sánchez, E. Soto, J. M. Sosa-Cerecedo, M. Yáñez, R. M. Muñoz, E. Anchondo, Á. (2009). EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO. *Terra Latinoamericana*, vol. 27, núm. 4, octubre-diciembre, 2009, pp. 311-317. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57313040005.pdf>

Sánchez, E. E. 2020. Programa Nacional Frutales. Superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. Ediciones INTA. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7906>

Santamaría, C. J.; Medina Morales, M.; Rivera González, M; Faz Contreras, R (2002). Algunos factores de suelo, agua y planta que afectan la producción y alternancia del nogal pecanero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 25, núm. 2, abril-junio. pp. 119-125. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61025201.pdf>

Sandoval Reyes, F. S.; Arreola Ávila, J. G.; Lagarda Murrieta, Á.; Trejo Calzada, R.; Esquivel Arriaga, O.; Garcia Herrera, G. (2010). Efecto de niveles de NaCl sobre fotosíntesis y conductancia estomática en nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 2010, IX (2). pp. 135-141. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545063006>

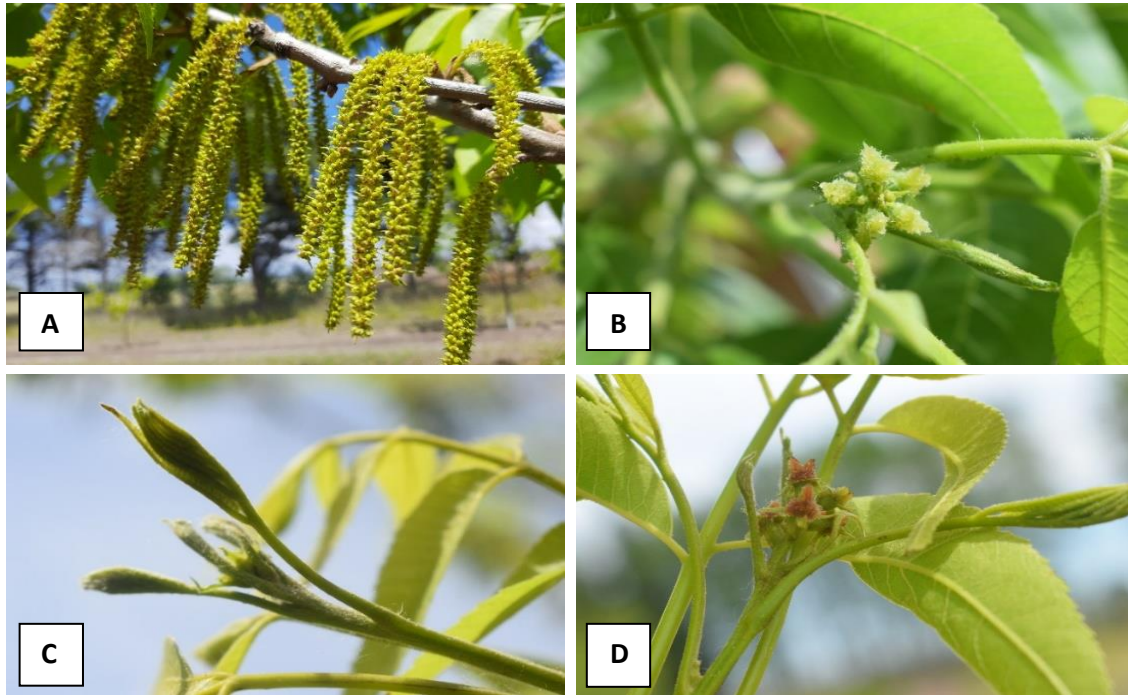
Senasa (2014). Decreto de Ley N° 9244/63. Disponible: https://www.senasa.gov.ar/prensa/Home/consulta_publica/182/182_proyecto_resolucion.htm

- Sierra, E. M., López, E., & Pérez, S. P. (2007).** Agroclimatología del pecán (*Carya illinoensis*) en la Argentina. Producción de pecán en Argentina. Buenos Aires: [sn], 1-10. Disponible: <https://saaa2a3304f444fe2.jimcontent.com/download/version/1528758169/module/9402950852/name/AGROCLIMATOLOGIA.pdf>
- Sparks, D. (1992).** Abnormal Flowering in Pecan Associated with Freezing Temperature. HortScience HortSci, 27(7), 801-803. Disponible: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.7.801>
- Sparks, D. (1996).** A Climatic Model for Pecan Production under Humid Conditions. Department of Horticulture, University of Georgia, Athens, GA 30602. J. AMER. SOC. H ORT. SCI. 121(5):908–914. 1996. Disponible: <https://journals.ashs.org/downloadpdf/journals/jashs/121/5/article-p908.pdf>
- Rolka, J. P., Ferracuti, W. A., Martin, D. M., di Nardo, Y., Miñon, D. J., Perez, S. C., & Enrique, A. M. L. (2014).** Manual de pautas tecnológicas para la producción de avellanos en Río Negro. INTA EEA Valle Inferior del Río Negro. Cap, 5.
- Taiariol, D. R. (2022).** Variedades de pecán. Programa de capacitación para el desarrollo productivo del cultivo de nuez pecán en la provincia de Corrientes. Informe técnico. 18 p. Disponible: https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/13832/INTA_CRCorrientes_EEABellaVista_Taiariol_DR_Variedades_de_pecan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Takata Vidal, V. & Varela García Pintos, V (2013).** Caracterización de la nuez pecán "*Carya illinoensis*" y sus perspectivas de comercialización en el Uruguay. 135 P. Disponible: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1778/1/3858tak.pdf>
- Tarango Rivero, H. S (2012).** Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Folleto técnico N°24. Tercera edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Campo Experimental Delicias. Chihuahua, México. 41 P. Disponible: http://www.comenuz.com/assets/manejo_del_nogal_pecanero_con_base_en_su_fenologia1.pdf
- Thornthwaite, C. W. (1948).** "An Approach toward a Rational Classification of Climate." Geographical review 38(1): 55–94.
- Thompson, T. E. & L. D. Romberg (1985).** Inheritance of heterodichogamy in pecan, Journal of Heredity, Volume 76, Issue 6, November 1985, Pages 456–458, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a110144>

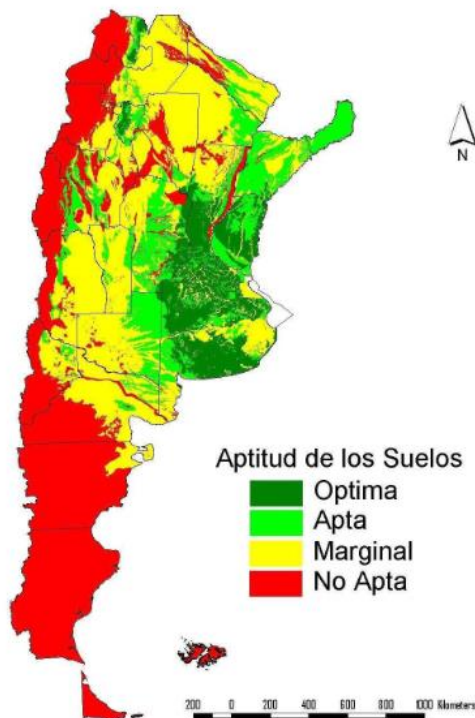
- Vargas Piedra, G.; Arreola Ávila, J. G. (2008).** Respuesta del nogal pecanero (*Carya illinoensis* k. koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, vol. VII, núm. 1. 7-14 P. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545066002.pdf>
- Villamil, J. J. Conde, P. Bianchi, D. Leoni, C. Zoppolo, R. (2021).** Variedades de nuez pecán, manejo y parámetros productivos. Programa de investigación en producción frutícola. Revista INIA N° 67. pp 53-58. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16157/1/Revista-INIA-67-Dic-2021-14.pdf>
- Wells, M. L., & Conner, P. J. (2009).** Pecan varieties for Georgia orchards. University of Georgia, Circular 898. 8 p. Disponible: <https://hdl.handle.net/10724/12357>
- Wood, B. W. (2000).** Pollination Characteristics of Pecan Trees and Orchards. HortTechnology horttech, 10(1), 120-126. Disponible: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.10.1.120>
- Worley, R.E. & Mullinix, B. G. (1994).** Pecan cultivar performance at the Coastal Plain Experiment Station, 1921-1994. Georgia Agric. Expt. Sta. Bull. #426. <https://pecanbreeding.uga.edu/cultivars/recommended-list/bibliography.html>
- Zaragoza-Lira, M. M. Preciado-Rangel, P. Figueroa-Viramontes, U. García-Hernández, J. L. Fortis-Hernández, M. Segura-Castruita, M. Á. Lagarda-Murrieta, Á. Madero-Tamargo, E. (2011).** Aplicación de composta en la producción del nogal pecanero revista Chapingo serie horticultura, vol. 17, núm. 1, pp. 33-37. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-52X2011000400006
- Zoppolo, R. Fasiolo, C. Villamil. J. J. (2016).** Estudio de la floración en variedades de pecán. Programa Nacional de Producción Frutícola. INIA, Las brujas, Uruguay. Revista INIA, N° 46. pp 28-31. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6158/1/Rev.INIA-2016-No46-p.28-31.pdf>

7. ANEXOS

ANEXO i. Fotografías de pecán A) Floración masculina: amentos de la variedad ‘Harris Super’. B) Floración femenina de la variedad ‘Major’ C) Rama en brotación de ‘Kernodle’ D) Floración femenina de ‘Kiowa’. Fuente: Fuente (2021)

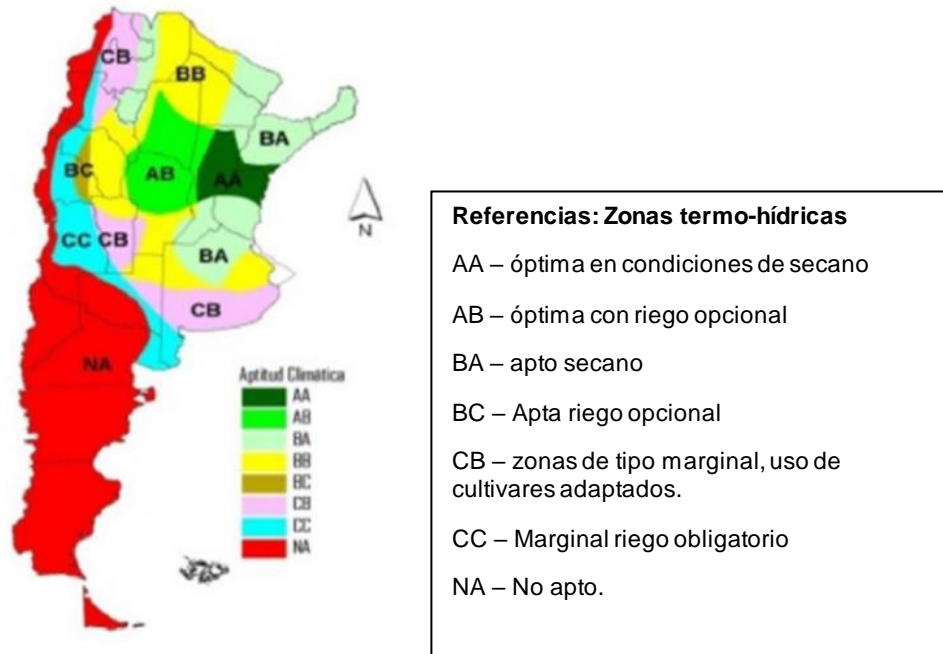


ANEXO ii. Mapa de clases de aptitud de los suelos. Fuente (Gómez & Cruzate, 2007).

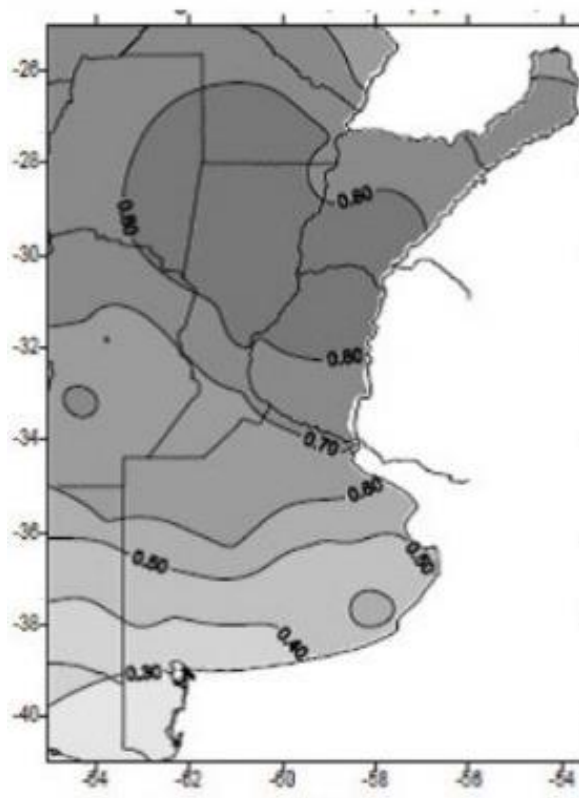


Criterios utilizados: Profundidad del suelo (>100 cm); Textura del horizonte subsuperficial (Franco); Alcalinidad sódica (PSI < 15% en el perfil); Salinidad (Suelos no salinos a débilmente salinos); Drenaje (Bien drenados y moderadamente drenados); Anegamiento (sin peligro y poco); Roccosidad (<20%); Humedad del suelo (Régimen údico) y Temperatura del suelo (Régimen térmico).

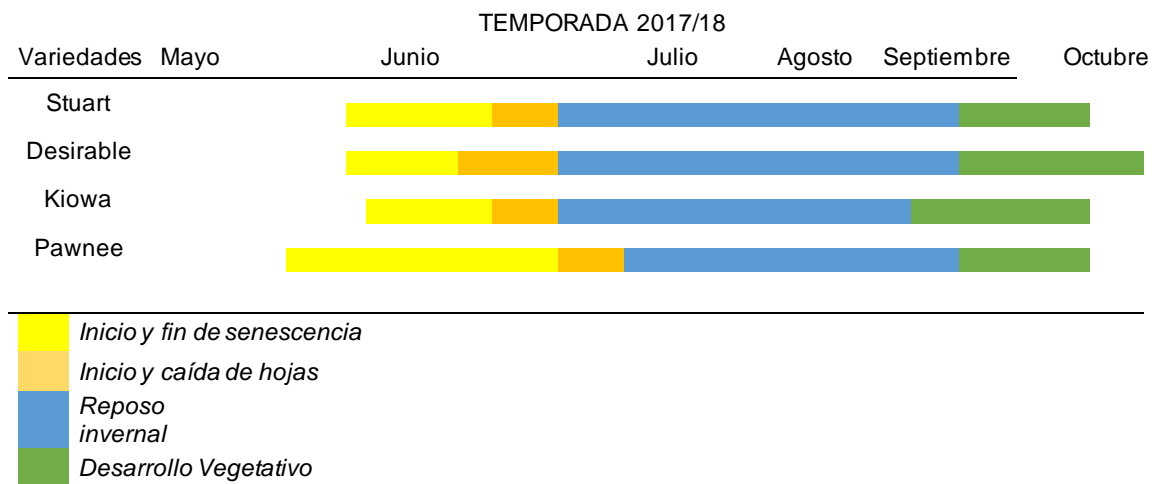
ANEXO iii. Mapa agroclimático del pecán. Fuente: Sierra et al. (2007)



ANEXO iv. índice de aptitud climático para Pecán. Fuente: Conti et al. (2008).



ANEXO v. Desarrollo vegetativo, inicio y fin de senescencia, inicio y caída de hojas.
Elaboración propia basado en datos de: Delgado & Carabajal (2018).

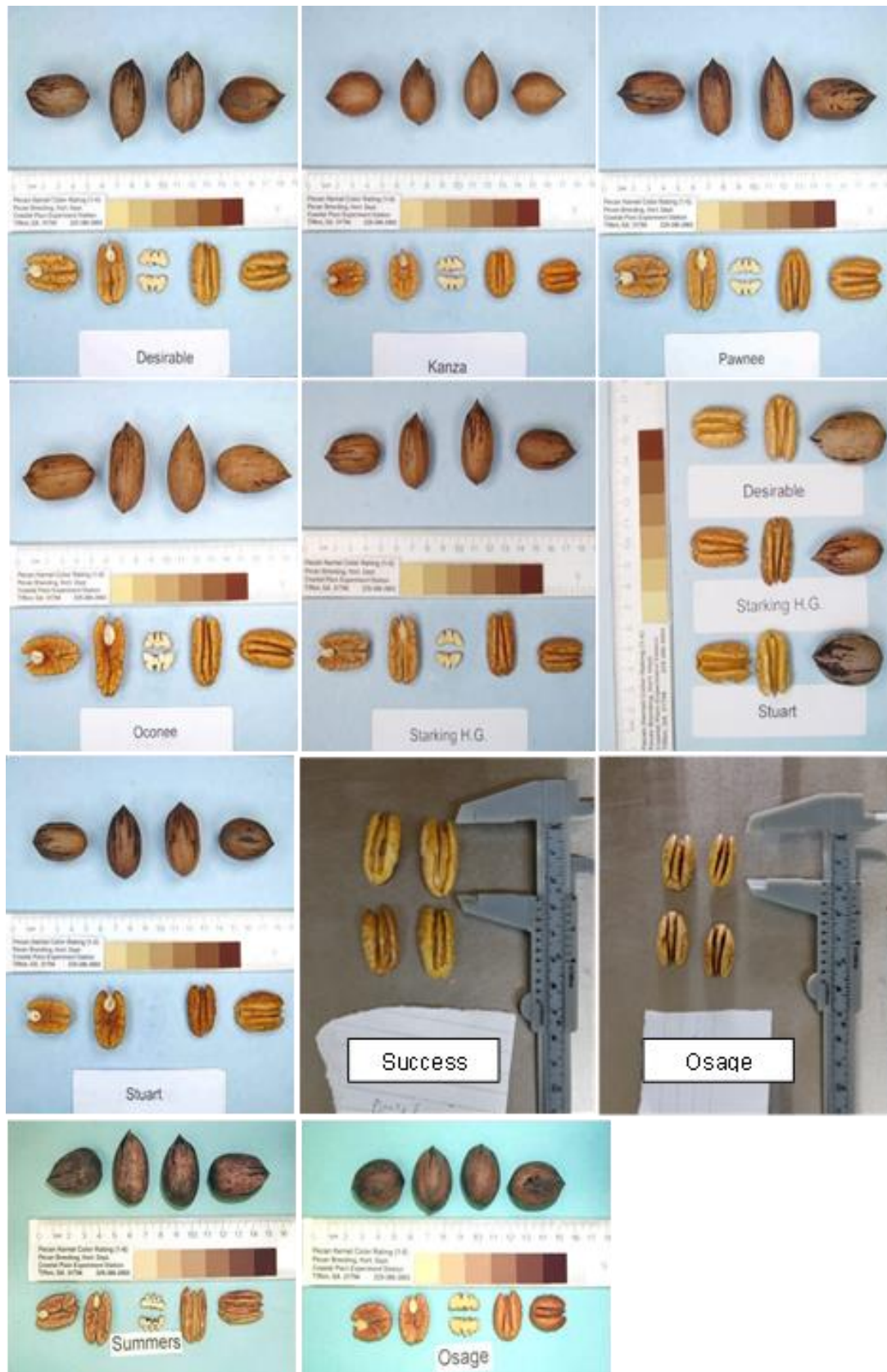


ANEXO vi. Variedades de nuez pecán según adaptación a distintas regiones en Estados Unidos, y su comportamiento en la polinización. Fuente: Elaboración propia basada en datos de Monte Nesbitt (2013).

Variedades	Adaptación en EEUU	Tipo de polinización
Desirable	Centro y sudeste	I*
Oconee	Centro y sudeste	I
Osage	Norte	I
Pawnee	Norte, Oeste, y sudeste.	I
Kanza	Norte, centro y sudeste	II*

* I – Variedades protándricas; II- Variedades protoginias.

ANEXO vii. Frutos y almendras correspondientes a once variedades de pecán. Fuente: Wells & Conner (2009). ‘Success’ y ‘Osage’ (elaboración propia, 2022).



ANEXO viii. Tabla resumen para variedades de pecán. Frutos cuajados (FC), madurez fisiológica (MF), amarilleo del follaje (AF), caída de hojas (CH), recuperación de reservas en días (desde FC a CH).

Variedades	Frutos Cuajados	Madurez Fisiológica	Amarilleo del follaje	Caída de Hojas	Recuperación de reservas
Colby	5-dic	21-abr	1-abr	27-abr	6
Desirable	30-nov	CF	8-abr	21-abr	
Giles	-	CF	21-abr	19-abr	
Green river	16-nov	30-abr	1-abr	5-may	5
Harris super	8-nov	28-abr	11-abr	2-may	4
Hodge	1-nov	CF	16-may	9-may	
Kanza	16-nov	29-abr	21-abr	25-abr	-4
Kernodle	17-nov	5-may	29-abr	3-may	-2
Kiowa	14-nov	10-may	1-abr	4-may	-6
Lugas	24-nov	3-abr	21-abr	27-abr	24
Major	17-nov	8-may	8-abr	13-may	5
Oconee	16-nov	8-may	1-may	11-may	3
Osage	29-nov	1-abr	1-abr	21-abr	20
Pawnee	19-nov	16-abr	1-may	5-may	19
Peruque	26-nov	26-abr	21-abr	2-may	6
Starking	20-nov	11-may	1-may	13-may	2
Stuart	23-nov	1-may	1-may	13-may	12
Success	20-nov	4-may	1-may	8-may	4
Summer	19-nov	8-may	9-may	18-may	10