Agrociencia Uruguay 2026 | Volume 30 | Number NE1 | Article e1707
DOI: 10.31285/AGRO.30.1707
ISSN 2730-5066

## Investigaciones en pecán en Sudamérica

# Comportamiento agronómico de dieciocho cultivares de pecán en el sur de Uruguay

Conde-Innamorato, P. [1]; Villamil, J. J. [1]; Bianchi, D. [1]; Zoppolo, R. [1]

[1] *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Sistema Vegetal Intensivo, Canelones, Uruguay*

**Editor**
Carlos Martins
*Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil*

**Received** *17 Mar 2025*
**Accepted** *22 Apr 2025*
**Published** *13 Feb 2026*

**Correspondence**
Paula Conde-Innamorato
*pconde@inia.org.uy*

## Resumen

El cultivo de pecán se encuentra en expansión en Uruguay desde hace más de 10 años. Dada la falta de conocimiento sobre el manejo del cultivo y su comportamiento en nuestras condiciones, se planteó como objetivo evaluar la viabilidad y el potencial productivo de distintos cultivares de pecán, identificando aquellos con mejor aptitud para nuestras condiciones edafoclimáticas. En 2010, se instaló un jardín de 18 cultivares en INIA Las Brujas, donde se evaluó vigor del árbol, entrada en producción, rendimiento (kg/planta) durante nueve cosechas consecutivas, fenología y calidad de la nuez. Los cultivares que han presentado un buen comportamiento productivo son Oconee, Kiowa, Nacono y Success en combinación con Pawnee y Cape Fear para mejorar la polinización, dado que estos dos cultivares presentaron protandria y los primeros cuatro, protoginia. El período de floración ocurrió desde fines de octubre hasta fines de noviembre. Los cultivares que presentaron una rápida entrada en producción fueron Kiowa, Success, Oconee, Cape Fear, Sumner y Apache. Este estudio representa la primera evaluación de cultivares de pecán realizada en el país, proporciona información valiosa sobre su comportamiento agronómico y ayuda en la toma de decisiones respecto a qué cultivares plantar bajo las condiciones edafoclimáticas del sur de Uruguay.

**Palabras clave:** calidad de nuez, *Carya illinoinensis*, fenología, nogal americano, rendimiento

CC BY

Conde-Innamorato, P., Villamil, J. J., Bianchi, D., & Zoppolo, R. (2026). Comportamiento agronómico de dieciocho cultivares de pecán en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay, 30*(NE1), Article e1707. https://doi.org/10.31285/AGRO.30.1707

# Agronomic Behavior of Eighteen Pecan Cultivars in Southern Uruguay


## Abstract

The cultivation of pecan has been expanding in Uruguay for over 10 years. Given the lack of knowledge about its management and behavior under local conditions, the objective was to evaluate the viability and productive potential of different pecan cultivars, identifying those best suited to our soil and climate conditions. In 2010, a trial garden with 18 cultivars was established at INIA Las Brujas. The study assessed plant vigor, precocity, and yield (kg/plant) over nine consecutive harvests, along with phenology, and nut quality. The cultivars that have shown good productive performance are Oconee, Kiowa, Nacono and Success, in combination with Pawnee and Cape Fear to improve pollination, as these two cultivars exhibited protandry, while the first four exhibited protogyny. The flowering period occurred from late October to late November. The cultivars that demonstrated the fastest entry into production were Kiowa, Success, Oconee, Cape Fear, and Apache. This study represents the first evaluation of pecan cultivars conducted in the country, providing valuable information on their agronomic performance and aiding decision-making regarding which cultivars to plant under southern Uruguayan soil and climate conditions.


**Keywords:** nut quality, *Carya illinoinensis*, phenology, American nut tree, fruit yield

# Comportamento agronômico de dezoito cultivares de pecã no sul do Uruguai


## Resumo

O cultivo de pecã está em expansão no Uruguai há mais de 10 anos. Dado à falta de conhecimento sobre o manejo do cultivo e seu comportamento em nossas condições, o objetivo foi avaliar a viabilidade e o potencial produtivo de diferentes cultivares de pecã, identificando aqueles com melhor aptidão para nossas condições edafoclimáticas. Em 2010, foi instalado uma área experimental com 18 cultivares no INIA Las Brujas. Foram avaliados o vigor da planta, a entrada em produção e o rendimento (kg/planta) durante nove colheitas consecutivas, além da fenología e da qualidade da noz. Os cultivares que apresentaram um bom desempenho produtivo foram Oconee, Kiowa, Nacono e Success, em combinação com Pawnee e Cape Fear para melhorar a polinização, pois esses dois cultivares apresentaram protandria, enquanto os quatro primeiros apresentaram protoginia. O período de floração ocorreu do final de outubro até o final de novembro. Os cultivares que tiveram uma rápida entrada em produção foram Kiowa, Success, Oconee, Cape Fear, Sumner e Apache. Já os que apresentaram maior grau de alternância produtiva ao longo dos anos foram Nacono, Oconee e Shoshoni. Este trabalho representa a primeira avaliação de cultivares de pecã realizada no País, disponibilizando informações valiosas sobre seu comportamento agronômico e auxiliando na tomada de decisões sobre quais cultivares plantar nas condições edafoclimáticas do sul do Uruguai.


**Palavras-chave:** qualidade da noz, *Carya illinoinensis*, fenología, nogueira-americana, rendimento

## 1. Introducción

El nogal pecán (*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch) es una especie arbórea originaria de América del Norte que ha ganado importancia económica a nivel global debido a la calidad y versatilidad de sus frutos secos (Sparks, 2005). La producción de pecán es considerada una nueva actividad frutícola en Uruguay. Sin embargo, su introducción data de 1960. A partir de 2007, la producción de pecán experimentó un crecimiento sostenido, impulsada por condiciones agroclimáticas favorables y una creciente demanda internacional. El incremento en el interés y en la implantación de pecán traccionó el desarrollo de viveros locales y la búsqueda de nuevos cultivares en el exterior. El origen de los materiales presentes en el país es Norteamérica y varios fueron importados desde Argentina. Al traerlos, se priorizó aquellos cultivares más adaptados a zonas húmedas, como son los de mejor desempeño en la zona de Entre Ríos (Fasiolo & Zoppolo, 2014).

Los principales cultivares implantados en Uruguay en orden de importancia según la presencia en los establecimientos son: Desirable, Shoshoni, Pawnee, Mahan, Stuart, Sumner, Kiowa, Oconee, Cape Fear y Success. Las plantaciones se encuentran distribuidas en varios departamentos, principalmente en Maldonado, seguido por Salto, Canelones, Colonia y San José. Hay al menos 50 productores locales de nuez pecán, la mayoría de los cuales cuenta con una superficie promedio pequeña (de 4 hectáreas) y hay pocos productores de explotaciones de gran porte con áreas entre 50 y 150 hectáreas. Con una densidad en general de entre 100 y 200 plantas por hectárea (Conde et al., 2023).

El clima de Uruguay se caracteriza por ser templado-húmedo, con temperatura media anual de 17 °C. Según los requerimientos térmicos de la especie propuestos, Uruguay es un área apta para el desarrollo de la producción de pecán. Los meses más cálidos y los más fríos son enero y julio, respectivamente. En enero el promedio de las temperaturas registradas es de 24 °C para las medias y en julio es de 11,6 °C. Las heladas meteorológicas (referidas a cuando la temperatura mínima a nivel del césped es menor a 0 °C) pueden ocurrir entre el 1 de mayo y el 31 de octubre (Castaño et al., 2011). La oferta de frío invernal varía entre 500 y 1000 unidades, factor que puede ser limitante para algunos cultivos frutales caducifolios (Contarín Villa & Curbelo Bacci, 1987). En general el pecán requiere de 400 a 1000 horas de frío (HF) a ≤ 7,2 °C (Mitrovich et al., 2023).

La precipitación media anual acumulada en Uruguay es de 1200 mm, con distribución desuniforme, sin existencia de estaciones secas ni lluviosas (Castaño et al., 2011). La humedad relativa media anual se sitúa entre 70 y 78 %, lo que, asociada a una alta pluviometría anual y temperaturas moderadas, favorece el desarrollo de enfermedades fúngicas. La elección de cultivares con mejor comportamiento frente a los patógenos es de suma importancia para lograr un manejo sostenible de los montes (Conde-Innamorato et al., 2022). A su vez, las precipitaciones durante la etapa de polinización pueden afectar acortando el período de liberación de polen (Mitrovich et al., 2023). Los suelos de Uruguay presentan gran variabilidad en cuanto a tipos y características en las diferentes regiones (Durán et al., 2006), desde arenosos y profundos hasta suelos de texturas arcillosas y poco profundos. En general los suelos de Uruguay no son salinos y son ligeramente ácidos a ácidos (pH 6,5 a menos de 5) (Docampo & Silva, 2013).

Uno de los factores clave en la producción de pecán es la adecuada combinación de cultivares para sincronizar la floración y asegurar una óptima polinización, lo que permite alcanzar máximos rendimientos (de Marco et al., 2023). Esto se debe a que el pecán es una planta diclino-monoica, es decir, produce flores femeninas y masculinas en el mismo árbol, pero en diferentes ubicaciones. La maduración de estas flores puede coincidir total o parcialmente, e incluso ocurrir en distintos momentos (Grauke & Thompson, 1993). A su vez, existen factores clave que pueden influir en la floración, como la acumulación de horas de frío, las temperaturas primaverales, el estado hídrico del suelo y la nutrición de las plantas (Mitrovich et al., 2023).

La evaluación de una especie frutal en una ubicación específica requiere la estimación de su potencial de crecimiento y desarrollo, precocidad y comportamiento productivo. Para determinar el momento de ocurrencia de la floración y su período de superposición, es necesario realizar estudios durante varios años. Investigaciones realizadas en China resaltan la necesidad de una evaluación a largo plazo de los cultivares de pecán para conocer su adaptación al sitio, resistencia a enfermedades, rendimiento y calidad de la nuez (Zhang et al. 2015). El comportamiento agronómico de los cultivares de pecán es altamente dependiente de factores genéticos, del manejo agronómico y de las características edafoclimáticas donde se desarrollan (Smith & Samach, 2013; Worley, 1990). Evaluar la adaptación, productividad y calidad de los cultivares en nuestras condiciones edafoclimáticas es clave para optimizar la producción y garantizar la sostenibilidad del cultivo.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de 18 cultivares de pecán en Uruguay, a través del seguimiento de las etapas fenológicas, el vigor, la productividad y la calidad de los frutos. Asimismo, se propone realizar un análisis de las principales limitantes y desafíos que

presenta el cultivo en nuestras condiciones climáticas, para contribuir al desarrollo de estrategias de manejo específicas para maximizar el rendimiento y la calidad del cultivo en el país.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Sitio experimental y material vegetal

El experimento fue establecido en 2010 en INIA "Las Brujas" Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, en el sur de Uruguay (S 34° 67', W 56° 37'), y los cultivares evaluados fueron Apache, Cape Fear, Desirable, Elliot, Gloria Grande, Kiowa, Mahan, Maramec, Nacono, Oconee, Pawnee, Shoshoni, Starking, Stuart, Success, Sumner, Western y Wichita. El diseño del experimento fue completamente al azar con tres árboles por parcela y fueron plantados en duplicado en dos cuadros, a una densidad de plantación de 100 árboles por hectárea (10 m entre árboles y 10 m entre filas). Los árboles de pecán fueron conducidos con un tronco libre de 1 metro de altura y una copa en forma de vaso abierto libre. El tipo de suelo consiste en un Brunosol Éutrico (subéutrico) Típico (lúvico), de textura franco limo arcillosa (Durán et al., 2006). La plantación cuenta con riego localizado por goteo, con 12 goteros de 4 L/h rodeando cada árbol. Los cultivares Western y Wichita se introdujeron en el módulo de evaluación dos años más tarde.

### 2.2 Clima

El clima predominante es templado húmedo con una media de precipitación anual de 1200 mm y una temperatura media de 17 °C. La humedad relativa media anual se sitúa entre 70 y 78 %. Las heladas meteorológicas pueden ocurrir entre el 1 de mayo y el 31 de octubre (Castaño et al., 2011). Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación climática automática instalada en el mismo sitio del experimento en INIA Las Brujas, considerando el promedio histórico referido a los datos de los últimos 50 años (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], n.d.). En la Tabla 1 se presenta la temperatura (°C) media, máxima y mínima, la precipitación acumulada (mm), la humedad relativa (%) y la evapotranspiración de Tanque A (mm).

**Tabla 1.** Temperatura media, máxima y mínima diaria (°C), precipitación acumulada mensual (PP, mm), humedad relativa (HR, %) y evapotranspiración mensual (Evap., evaporación en tanque clase A). Promedio mensual de datos históricos de los últimos 50 años en INIA Las Brujas, Uruguay

| *Mes* | *Promedio diario de temperatura (°C)* | | | *PP (mm)* | *HR (%)* | *Evap. (mm)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Media* | *Máx.* | *Mín.* | | | |
| Enero | 23,2 | 29,5 | 17,4 | 100,1 | 70,2 | 244 |
| Febrero | 22,3 | 28,1 | 17,3 | 107,6 | 74,3 | 182 |
| Marzo | 20,5 | 26,2 | 15,6 | 111,1 | 76,7 | 158 |
| Abril | 17,0 | 22,5 | 12,1 | 99,9 | 79,3 | 104 |
| Mayo | 13,3 | 18,4 | 8,6 | 93,0 | 82,1 | 68 |
| Junio | 10,4 | 15,4 | 6,0 | 77,9 | 82,8 | 50 |
| Julio | 9,7 | 14,6 | 5,6 | 82,2 | 82,5 | 55 |
| Agosto | 11,1 | 16,6 | 6,4 | 89,5 | 79,5 | 75 |
| Setiembre | 13,0 | 18,4 | 8,0 | 84,3 | 76,9 | 103 |
| Octubre | 15,9 | 21,4 | 10,6 | 101,2 | 75,5 | 146 |
| Noviembre | 18,5 | 24,4 | 13,0 | 94,9 | 71,9 | 185 |
| Diciembre | 21,3 | 27,6 | 15,4 | 86,2 | 69,2 | 234 |

*Fuente*. INIA (n.d.)

## 2.3 Parámetros fenológicos

El período de liberación de polen se registró visualmente, basados en la escala descrita en la Cartilla N.º 67 (INIA, 2016), en tres plantas de cada cultivar. Para cada fecha de muestreo, se registró un estado fenológico predominante único para el conjunto de árboles de cada cultivar. El inicio del período de liberación de polen se registró cuando al observar diez ramas al azar con presencia de amentos, se observaba polen en el aire al sacudir el racimo en al menos dos de esas ramas. El fin del período se registró cuando ya no se observó polen en el aire luego de sacudir diez ramas al azar en el árbol. El inicio del período de receptividad del estigma se registró cuando al observar diez ramas al azar con presencia de flores femeninas, se observó la flor desarrollada, verde, pegajosa y brillante en al menos dos de esas ramas. Y el fin del período se registró cuando ya no se observan flores brillantes y estaban deshidratadas.

## 2.4 Parámetros productivos

La cosecha de los árboles se realizó mediante un vibrador de tronco, colocando una malla sobre el suelo de manera de recoger las nueces al caer. Se registró la fecha de cosecha por cultivar, con el criterio para definir el óptimo de maduración de que más del 50 % de los frutos presentara apertura del ruezno. Las nueces colectadas por árbol se limpiaron, se les sacó el ruezno y se secaron durante 5 días. El registro de rendimiento por temporada y por cultivar se realizó registrando el peso de nueces limpias y secas (kg nuez/árbol). El rendimiento en kg/árbol fue registrado en cada una de las tres plantas de la parcela y en ambos cuadros (n=6), anualmente desde 2016 hasta 2024. Y se estimó el rendimiento acumulado por cultivar hasta 2024. También se estimó el rendimiento promedio por árbol y por año considerando los 9 años evaluados.

Se midió la circunferencia de tronco a 60 cm sobre el suelo en cada una de las tres plantas de la parcela y en ambos cuadros (n=6). Se calculó la eficiencia productiva (kg/cm$^2$) considerando los kg de fruta acumulados hasta el año 2024 por el árbol, dividido por la superficie transversal del tronco (cm$^2$) registrada en 2024.

De cada cultivar se colectó, inmediatamente después de la cosecha, una muestra de 20 frutos, que se llevó al laboratorio y se secó en estufa a 60 °C por 24 horas, hasta alcanzar el 4,5 % de humedad, condición necesaria para mantener la calidad de la nuez. Se determinó el peso y el porcentaje de almendra, para lo que se pelaron las nueces y se pesó por separado la cáscara y la almendra. Se determinó mediante un calibre el espesor de la cáscara. Se evaluó la dureza de la cáscara con un texturómetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK), con un disco (P/75) con un diámetro de 100 mm, para la prueba de compresión total. Los parámetros operativos fueron 1 mm/s y 10 mm/s para pre- y posprueba, respectivamente, con una velocidad de 1 mm/s, a una distancia de 3 mm y un disparador de 5 g.

## 2.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para las variables rendimiento acumulado por árbol, rendimiento promedio (kg/árbol/año), área de sección transversal de tronco (cm$^2$), eficiencia productiva (kg/cm$^2$), dureza de la cáscara medida en fuerza (kg), espesor de la cáscara (mm), peso de los frutos (g) y rendimiento de almendra (%), considerando el cultivar como tratamiento. Para la comparación de medias, se aplicó la prueba de DGC con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$. En todos los casos, el software estadístico utilizado fue InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

# 3. Resultados

## 3.1 Parámetros fenológicos

El período de floración registrada en un promedio de ocho temporadas en el sur de Uruguay tuvo lugar desde fines de octubre hasta fines de noviembre (Figura 1). Existieron tres cultivares que presentaron protándria, en tanto el resto de los cultivares presentó protogínea. De los cultivares protándricos, Cape Fear fue el primero en estar en estado de liberación de polen, el 25 de octubre, seguido de Pawnee, el 27 de octubre, y luego Desirable, el 31 de octubre. El período de liberación de polen dura entre 9 y 14 días, dependiendo del cultivar; Shoshoni y Kiowa presentaron un período de liberación de polen más corto y Mahan, Cape Fear, Pawnee y Nacono presentaron un período de liberación de polen más extendido.

El período de receptividad del estigma tuvo una duración aproximada de 14 días, observado en el cultivar Success, y 20 días observado en el cultivar Apache. Los primeros cultivares en estar receptivos fueron Mahan, Apache y Elliot a partir del 24-25 de octubre, y el último fue Desirable, llegando hasta el 20 de noviembre. Con base en los registros de ocho años en árboles adultos se observa que ningún cultivar presentó dicogamia completa (Figura 1).

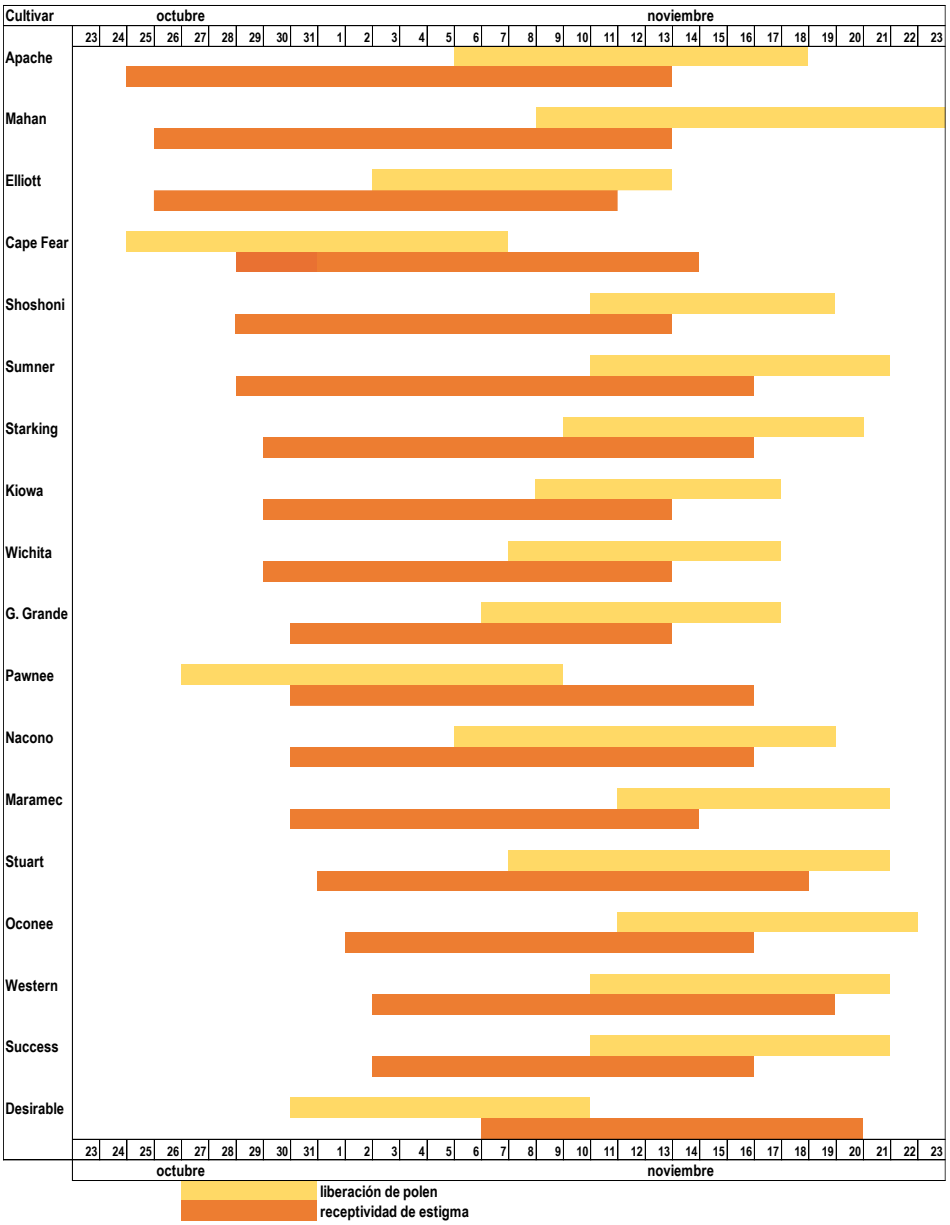



**Figura 1.** Período de liberación de polen y de receptividad de estigma de 18 cultivares de pecán, basado en un promedio de 8 temporadas, en el sur de Uruguay

### 3.2 Parámetros productivos

El rendimiento acumulado registrado a lo largo de nueve cosechas consecutivas presentó diferencias significativas entre cultivares ($p < 0,0001$) (Figura 2). Los cultivares que presentaron mayor cosecha acumulada fueron Oconee, Kiowa, Nacono, Cape Fear, Pawnee y Success (más de 60 kg acumulados/árbol). Los cultivares Maramec, Starking, Sumner, Apache, Elliot y Shoshoni presentaron un rendimiento acumulado intermedio con rangos entre 40 y 60 kg/árbol. Los cultivares que presentaron menor rendimiento acumulado fueron Gloria Grande, Stuart, Desirable, Mahan, Western y Wichita (menos de 35 kg/árbol). La entrada en producción ocurrió para algunos cultivares en el año 2016, a los seis años de edad de los árboles. Esta rápida entrada en producción se observó en los cultivares Kiowa, Success, Oconee, Cape Fear, Sumner y Apache.

En la Figura 2 se puede observar la alternancia productiva en la mayoría de los cultivares, con años de altos rendimientos seguidos de años de bajos rendimientos. En los años de altos rendimientos los promedios son de 10 kg/árbol, mientras que en los años de bajos rendimientos se registraron promedios de 3 kg/árbol. Los mayores rendimientos se registraron en 2024 y los menores en 2020, considerados a partir de 2019, luego de haber entrado en producción. Analizando el rendimiento a lo largo de los diferentes años evaluados se puede observar que en 2016 el rendimiento promedio observado de los cultivares que presentaron cosecha fue de 1,1 kg/árbol, en 2017 fue de 2,8 kg/árbol, en 2018 fue de 2,7 kg/árbol y en 2019 se observó un aumento en el rendimiento promedio con un valor de 6,4 kg/árbol, indicando primera cosecha comercial. En 2020 el rendimiento promedio fue menor al año anterior con un valor de 3,4 kg/árbol y en 2021 de 7,3 kg/árbol. En 2022, 5,6 kg/árbol, en 2023 y 2024 aumentó la cosecha con valores de rendimiento promedio de 8,4 y 10,4 kg/árbol, respectivamente.

De acuerdo con lo observado en INIA Las Brujas, el período de cosecha se extiende normalmente desde abril a junio, comenzando con Pawnee, Shoshoni, Maramec, Nacono y Cape Fear, entre el 1 y el 21 de abril; seguido de Desirable, Kiowa, Mahan, Starking, Stuart, Success, Sumner y Gloria Grande, entre el 22 de abril hasta mediados de mayo, y por último Apache, Oconee y Elliott, entre mediados de mayo hasta principios de junio.

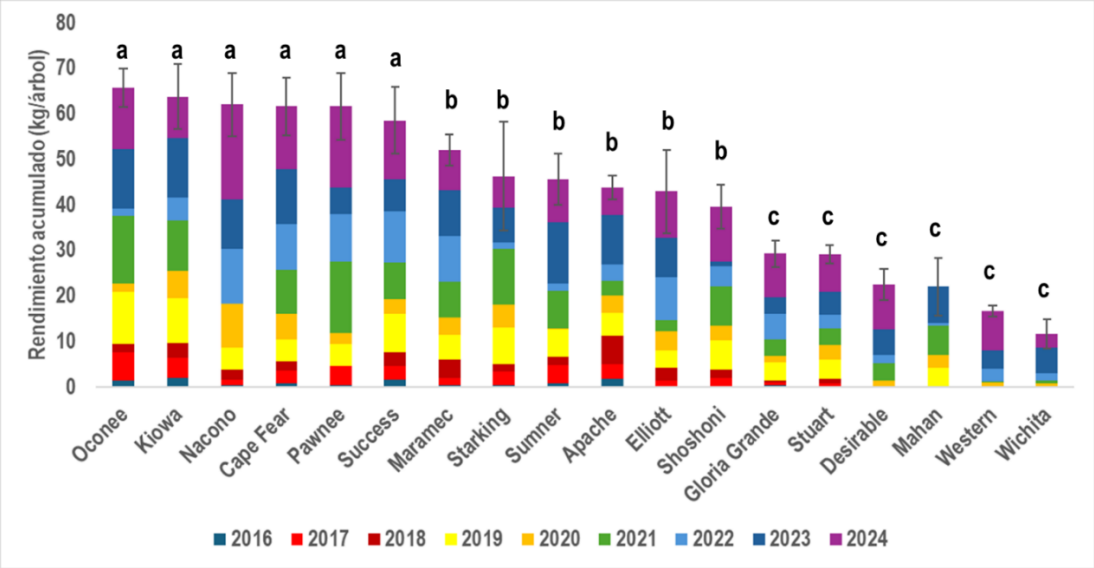



**Figura 2.** Rendimiento acumulado (kg/árbol) de 18 cultivares de pecán, registrados anualmente desde 2016 a 2024, en el sur de Uruguay

Las barras con letras comunes no son significativamente diferentes según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Los cultivares presentaron diferencias significativas en vigor, medido en función del área de sección transversal de tronco. El cultivar que presentó mayor vigor fue Shoshoni, y los cultivares que presentaron menor vigor fueron Maramec, Mahan, Western y Wichita (Tabla 2). Los valores variaron entre 200 y 600 $cm^2$ por árbol, correspondiente a 2 y 6 $m^2$/hectárea, dado el marco de plantación. El rendimiento por año acompaña el mismo análisis que para el rendimiento acumulado en cuanto al orden de los cultivares, y los valores variaron entre 1,3 y 7,3 kg/árbol por año. La eficiencia productiva se dividió en dos grupos; Oconee, Kiowa, Nacono, Cape Fear, Pawnee, Success, Maramec, Starking, Sumner y Apache fueron los cultivares que presentaron mayores valores (Tabla 2).

**Tabla 2.** Rendimiento promedio (kg/árbol/año), considerando 9 años de estudio, área de sección transversal de tronco ($cm^2$) registrada en 2024 y eficiencia productiva (kg/$cm^2$) de 18 cultivares de pecán en el sur de Uruguay

| *Cultivar* | *Rendimiento (kg/árbol/año)* | *Área de sección de tronco ($cm^2$)* | *Eficiencia productiva (kg/$cm^2$)* |
|---|---|---|---|
| Oconee | 7,3 a | 392 b | 0,17 a |
| Kiowa | 7,1 a | 412 b | 0,16 a |
| Nacono | 6,9 a | 357 b | 0,17 a |
| Cape Fear | 6,8 a | 432 b | 0,14 a |
| Pawnee | 6,8 a | 445 b | 0,14 a |
| Success | 6,5 a | 453 b | 0,13 a |
| Maramec | 5,8 b | 299 c | 0,17 a |
| Starking | 5,1 b | 372 b | 0,12 a |
| Sumner | 5,1 b | 341 b | 0,13 a |
| Apache | 4,9 b | 362 b | 0,13 a |
| Elliott | 4,8 b | 503 b | 0,09 b |
| Shoshoni | 4,4 b | 592 a | 0,07 b |
| Gloria Grande | 3,3 c | 459 b | 0,06 b |
| Stuart | 3,2 c | 413 b | 0,07 b |
| Desirable | 2,5 c | 374 b | 0,06 b |
| Mahan | 2,4 c | 268 c | 0,08 b |
| Western | 1,9 c | 266 c | 0,07 b |
| Wichita | 1,3 c | 207 c | 0,06 b |

Letras comunes dentro de cada columna indican que no hay diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

Analizando los parámetros de calidad de los frutos en la Tabla 3, se observa que los mayores valores de dureza de la cáscara los presentan los cultivares Elliott y Success. Por otro lado, Mahan, Apache, Sumner, Starking, Kiowa, Nacono, Oconee y Pawnee presentaron los valores menores, indicando que poseen una cáscara más blanda. El resto de los cultivares presentó una dureza intermedia. El espesor de la cáscara varió entre 1,58 y 0,90 mm, siendo Success, Western y Gloria Grande los que presentaron mayor espesor, y Oconee el cultivar que presentó menor espesor de cáscara. El peso de los frutos varió entre 4,7 y 8,7 g, siendo los cultivares con frutos de mayor peso Mahan, Maramec, Nacono, Kiowa, Desirable y Gloria Grande. El cultivar Elliott presentó el menor peso de fruto, lo que lo diferencia significativamente del resto de los cultivares. El rendimiento de almendra (%) fue mayor al 52 % en la mayoría de los cultivares, salvo para los cultivares Gloria Grande, Stuart y Success, que fue menor al 50 % (Tabla 3).

**Tabla 3.** Dureza de la cáscara medida en fuerza (kg), espesor de la cáscara (mm) y peso de fruto (g) y rendimiento de almendra (%) de 18 cultivares de pecán en el sur de Uruguay

| *Cultivar* | *Fuerza (kg)* | *Espesor (mm)* | *Peso (g)* | *Almendra (%)* |
|---|---|---|---|---|
| Elliott | 46,3 a | 1,21 c | 4,7 c | 53,0 a |
| Success | 44,7 a | 1,58 a | 6,8 b | 49,0 b |
| Western | 35,0 b | 1,56 a | sd | sd |
| Shoshoni | 32,9 b | 1,39 b | 5,4 b | 53,7 a |
| Gloria Grande | 31,5 b | 1,48 a | 7,5 a | 50,0 b |
| Wichita | 31,4 b | 1,26 c | sd | sd |
| Stuart | 31,1 b | 1,24 c | 6,9 b | 49,0 b |
| Desirable | 28,1 b | 1,05 d | 7,6 a | 52,2 a |
| Maramec | 28,1 b | 1,33 b | 8,2 a | 58,5 a |
| Cape Fear | 26,9 b | 1,19 c | 6,6 b | 54,7 a |
| Mahan | 24,9 c | 1,04 d | 8,7 a | 55,7 a |
| Apache | 24,2 c | 1,26 c | 5,7 b | 56,0 a |
| Sumner | 23,6 c | 1,01 d | 6,1 b | 56,8 a |
| Starking | 22,6 c | 1,11 d | 6,8 b | 55,1 a |
| Kiowa | 21,2 c | 1,22 c | 7,8 a | 53,7 a |
| Nacono | 20,5 c | 1,06 d | 8,4 a | 55,0 a |
| Oconee | 20,1 c | 0,90 e | 6,0 b | 57,0 a |
| Pawnee | 19,6 c | 1,16 c | 6,5 b | 58,3 a |

Letras comunes dentro de cada columna indican que no hay diferencias significativas según la prueba DGC ($p \leq 0,05$).

## 4. Discusión

En el presente trabajo se describe el comportamiento agronómico de 18 cultivares de pecán en el sur de Uruguay. Se constató que la productividad de los cultivares alcanzó los rendimientos encontrados en los países de origen para árboles de hasta 14 años de edad, y con excelente calidad de los frutos, y se encontraron diferencias entre cultivares en rendimiento acumulado. Los cultivares que presentaron un buen comportamiento productivo fueron Oconee, Kiowa, Nacono y Success en combinación con Pawnee y Cape Fear para mejorar la polinización. El 70 % de los montes de pecán en Brasil producen menos de 1,0 t/ha dada la amplia diversidad de nivel tecnológico entre productores (Martins et al., 2023). En tanto en un estudio realizado en Chihuahua, México, los rendimientos promedio encontrados fueron de 2,4 t/ha, pero en árboles de 34 años de edad (Noperi-Mosqueda et al., 2020).

La fenología está estrechamente relacionada con las características agroclimáticas propias de cada región (Mitrovich et al., 2023). Cultivares de pecán han presentado diferencias en su desarrollo fenológico reproductivo cultivados en diferentes sitios. En nuestro trabajo se reporta que el período de floración de los 18 cultivares en estudio tuvo lugar desde fines de octubre hasta fines de noviembre, mientras que en la zona del Valle Central de Catamarca ocurrió aproximadamente un mes antes en los ocho cultivares evaluados (Delgado & Carabajal, 2018), al igual que en cuatro cultivares evaluados en la provincia de Buenos Aires (Borda et al., 2020). En un estudio realizado con nueve cultivares, donde seis coinciden con los evaluados en nuestro trabajo, el período de floración se adelantó aproximadamente 20 días en la provincia de Tucumán, Argentina (Mitrovich et al., 2023).

La presencia de las flores femeninas se prolongó por un período de tiempo mayor respecto a las flores masculinas, a diferencia de lo reportado para el centro-norte de la provincia de Buenos Aires (Borda et al., 2020). En zonas con inviernos benignos, el tiempo de liberación de polen podría ser más extenso, como se reporta en la provincia de Salta, Argentina (Mitrovich et al., 2023), donde el período de liberación del polen llegó a durar entre 9 y 15 días durante 2022. Otros autores también resaltan la influencia de factores climáticos como temperatura, humedad y viento en la duración de la polinización y el desarrollo floral (Han et al., 2018).

El patrón de floración es genético y puede adelantarse o atrasarse según las temperaturas del año en cuestión y el lugar donde se encuentre implantado el monte pecanero (Mitrovich et al., 2023). En el sur de Uruguay Pawnee y Desirable se comportaron como protándricas, lo que coincide con lo reportado en Argentina (Borda et al., 2020; Delgado & Carabajal, 2018). Oconee, que en algunos sitios es considerado protándrico, para nuestra región se comporta como protoginia, al igual que en la provincia de Tucumán, Argentina (Mitrovich et al., 2023). Estas fluctuaciones podrían deberse a condiciones ambientales que causan que las flores femeninas maduren antes que los amentos (Sparks, 1992). Estudios más específicos son necesarios para determinar cuáles tienen mayor relevancia en la respuesta. Todos los cultivares presentaron superposición de la floración, coincidiendo con lo reportado en Argentina (Borda et al., 2020; Delgado & Carabajal, 2018).

El área de sección transversal de tronco varió entre 2 y 6 $m^2$/hectárea. Sin embargo, se ha reportado que para una producción óptima de nuez los valores deberían estar entre 5,7 y 7,8 $m^2$/ha (Worley, 1990), por lo tanto, se debe aumentar el desarrollo de los árboles.

En nuestro estudio se destacan como precoces los cultivares Kiowa, Success, Oconee, Cape Fear, Sumner y Apache, en tanto en China los cultivares introducidos de Estados Unidos Mahan y Pawnee han sido considerados precoces, siendo de los más plantados en el país asiático (Zhang et al. 2015).

Hasta el momento, Western y Wichita no han mostrado un adecuado comportamiento productivo. A pesar de que fueron implantados dos años más tarde y es necesario recoger más información, parecen no alcanzar un rendimiento aceptable. A su vez, el cultivar Wichita ha presentado alta susceptibilidad a sarna (Conde-Innamorato et al., 2022). Sin embargo, en la Comarca Lagunera, México, han sido reportados como los cultivares recomendados para dicha región (Medina-Morales et al., 2004), lo que no sorprende si consideramos que aquella zona productiva tiene una precipitación anual promedio de 400 mm.

Al igual que en Brasil (Crosa et al., 2020), la sarna del pecán (*Venturia effusa*) es la principal enfermedad del cultivo en Uruguay (Conde-Innamorato et al., 2022). Afecta hojas y frutos, lo que resulta en defoliaciones y pérdidas de rendimiento y calidad de frutos (Bock et al., 2022). En INIA Las Brujas se ha realizado un estudio sobre la susceptibilidad de estos 18 cultivares de pecán a la sarna, con Wichita y Apache como los cultivares más susceptibles con un índice de severidad de la enfermedad (ISE) mayor a 4,44 en una escala de 1 a 5, mientras que los demás cultivares evaluados presentaron un ISE menor a 2,2 (Conde-Innamorato et al., 2022). El manejo sanitario de las plantaciones es clave y puede ser definitorio en la sostenibilidad del cultivo y su viabilidad. Dada la dificultad en el control químico por la altura de los árboles y las limitantes en el manejo cultural de ventilar por su gran vigor, en zonas de clima templado húmedo como Uruguay es muy importante diseñar plantaciones con cultivares que sean tolerantes a la sarna. Stuart ha sido reportada como tolerante a sarna, y Mahan y Cape Fear como susceptibles en Brasil (Martins et al., 2023).

Para una correcta elección de los cultivares a plantar es necesario considerar varios aspectos, sabiendo que difícilmente un cultivar cumpla con todas las características deseadas. Se debe tener en cuenta la entrada en producción, la fenología reproductiva, el rendimiento, la susceptibilidad (principalmente a sarna), el tamaño de nuez y la dureza de la cáscara. Hay producciones de pequeña escala donde el pelado de la nuez es manual, por lo cual la dureza de la cáscara es un factor relevante. En un estudio previo se ha determinado la composición

bioactiva y la capacidad antioxidante de estos cultivares que crecen en las condiciones del sur de Uruguay (Ferrari et al., 2022), lo que permite complementar la elección de cultivares a plantar en función del objetivo buscado con relación a la calidad de los frutos. Otro factor a tener en cuenta es el momento de cosecha, que, si bien existen diferencias genéticas entre cultivares, también se ve afectada la cosecha entre los diferentes años, en función del clima y la carga que tiene el árbol. Esta será otra cualidad a considerar para definir la combinación de cultivares a instalar. Escalonar los momentos de cosecha facilitará la logística y permitirá maximizar la calidad y la conservación de las nueces.

Las principales limitantes que se detectan para la adecuada producción de pecán en las condiciones de Uruguay son suelos poco profundos, con baja retención de agua y alta facilidad de anegamiento; la alta humedad relativa del ambiente, que puede afectar la apertura de las anteras y la liberación del polen, así como también favorecer el desarrollo de la sarna; y la presencia de fuertes vientos, que, si bien son necesarios para la polinización anemófila, pueden acortar la receptividad del estigma y/o provocar rajadura de ramas. A su vez, otro factor limitante es la precipitación irregular a lo largo del año, que determina la alta dependencia de contar con un sistema de riego para que no se vea afectada la calidad final de la nuez (de Marco et al., 2021). Los principales desafíos se centran en buscar las combinaciones de cultivares que optimicen su polinización y permitan aplicar una combinación de prácticas para potenciar la eficiencia productiva de estos.

## 5. Conclusiones

Este estudio representa la primera evaluación de cultivares de pecán realizada en el país, por lo que proporciona información valiosa sobre su comportamiento agronómico, para contribuir a la toma de decisiones respecto a qué cultivares plantar bajo nuestras condiciones edafoclimáticas.

### Agradecimientos

El Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, Uruguay) (Proyecto INIA FR 25) financió esta investigación. Agradecemos la colaboración de Cecilia Martínez en la realización de los análisis de calidad de los frutos y de Guadalupe Tiscornia, por proveernos los datos climáticos.

### Transparencia de los datos

Datos disponibles: Todo el conjunto de datos que respalda los resultados de este estudio fue publicado en el propio artículo.

### Declaración de contribución de los autores

| | P Conde-Innamorato | JJ Villamil | D Bianchi | R Zoppolo |
|---|---|---|---|---|
| Conceptualization | ■ | | | ■ |
| Data curation | | ■ | ■ | |
| Investigation | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Methodology | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Writing – original draft | ■ | | | ■ |
| Writing – review and editing | ■ | | | ■ |

## Referencias

Bock, C. H., Charlton, N. D., Shiller, J., Randall, J. J., & Young, C. A. (2022). Population genetic diversity and structure of the pecán scab pathogen, *Venturia effusa*, on cv. desirable and native seedlings, and the impact of marker number. *Plant Pathology*, *71*, 1103-1119. https://doi.org/10.1111/ppa.13551

Borda, M. P., Pescie, M. Á., 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 de la Facultad de Agronomía*, *119*(2), Article e047. https://doi.org/10.24215/16699513e047

Castaño, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., & Bidegain, M. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay: 1980-2009*. INIA.

Conde, P., Villamil, J. J., Bianchi, D., Zoppolo, R., Enright, J. P., Sánchez, A., Olivera, A., Francia, B., & González, S. (2023). INIA y APPU juntos fortaleciendo el desarrollo del sector pecánero. *Revista INIA*, (73), 52-55. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-73-junio-2023-14.pdf

Conde-Innamorato, P., Villamil, J. J., Sessa, L., Zoppolo, R., & Leoni, C. (2022). Susceptibility of pecán cultivars to *Venturia effusa* in Uruguay. *International Journal of Pest Management*, *68*(4), 311-318. https://doi.org/10.1080/09670874.2022.2130467

Contarín Villa, S. E., & Curbelo Bacci, L. A. (1987). Aporte para la regionalización del cultivo de frutales de hoja caduca en el país según la ocurrencia de frío invernal efectivo para el rompimiento del receso [Bachelor's tesis, Universidad de la República]. Colibri. https://hdl.handle.net/20.500.12008/39894

Crosa, C. F. R., de Marco, R., de Souza, R. S., & Martins, C. R. (2020). Tecnologia de produção de noz-pecã no sul do Brasil. *Revista Científica Rural*, *22*(2), 249-262. https://doi.org/10.30945/rcr-v22i2.3170

de Marco, R., Goldschmidt, R. J. Z., Herter, F. G., Martins, C. R., Mello-Farias, P. C., & Uberti, A. (2021). The irrigation effect on nuts' growth and yield of Carya illinoinensis. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, *93*(1), Article e20181351. https://doi.org/10.1590/0001-3765202120181351

de Marco, R., Herter, F. G., Zoppolo Goldschmidt, R. J., Martins, C. R., & Crosa, C. (2023). Effects of pollen sources on the quality of nuts borne by pecán cultivars Kiowa and Barton. *Comunicata Scientiae*, *14*, Article e3696. https://doi.org/10.14295/cs.v14.3696

Delgado, E. A., & Carabajal, D. E. (2018). Evaluación fenológica del nogal pecán en la provincia de Catamarca. *Revista del CIZAS*, *19*(2), 7-15. http://hdl.handle.net/11336/212446

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *Infostat* (version 2020) [Software]. Universidad Nacional de Córdoba. http://www.infostat.com.ar

Docampo, R., & Silva, A. (2013). Suelos y su manejo. In M. A. Grompone & J. Villamil (Eds.), *Aceites de oliva: De la planta al consumidor* (pp. 91-122). INIA.

Durán, A., Califra, A., Molfino, J. H., & Lynn, W. (2006). *Keys to soil taxonomy for Uruguay*. USDA

Fasiolo, C., & Zoppolo, R. (2014). Alternativa para la producción frutícola: Nuez pecán. *Revista INIA*, (37), 37-42. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3552/1/Rev.INIA-2014-No38-p.37-42.pdf

Ferrari, V., Gil, G., Heinzen, H., Zoppolo, R., & Ibáñez, F. (2022). Influence of cultivar on nutritional composition and nutraceutical potential of pecán growing in Uruguay. *Frontiers in Nutrition*, *9*, Article 868054. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.868054

Grauke, L. J., & Thompson, T. E. (1993). The effect of season on dichogamy patterns in pecán. *HortScience*, *28*(4), 261-277. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.4.266A

Han, M., Peng, F., & Marshall, P. (2018), Pecán phenology in Southeastern China. *Annals of Applied Biology*, *172*, 160-169. https://doi.org/10.1111/aab.12408

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (n.d.). Banco de Datos Agroclimáticos. http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2016). *Descripción de estados fenológicos de pecán: Adaptado de L J Grauke*. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6339/1/067-PECÁN.pdf

Martins, C. R., Hoffmann, A., Costa, J., José, N., & Alba, M. F. (2023). *Panorama da produção, processamento e comercialização de noz-pecã no Sul do Brasil.* Embrapa Clima Temperado. http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1158522

Medina-Morales, M. C., Lagarda-Murrieta, Á., & Arreola-Ávila, J. (2004). Productividad a largo plazo de 14 cultivares de nogal pecánero (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *10*(1), 31-36. http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2002.08.042

Mitrovich, N., Aranda, N., Valdez, I., Roig, M., Salas, H., & Figueroa, D. H. (2023). Estudio fenológico de los principales cultivares de Pecán empleados en Tucumán. *Publicación Especial*, (72). https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/12/PECÁN-FINAL-2023.pdf

Noperi-Mosqueda, L. C., Soto-Parra, J. M., Sanchez, E., Navarro-Leon, E., Perez-Leal, R., Flores-Cordova, M. A., Salas-Salazar, N. A. & Yanez-Munoz, R. M. (2020). Yield, quality, alternate bearing and long-term yield index in pecán, as a response to mineral and organic nutrition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(1), 342-353. http://doi.org/10.15835/nbha48111725

Smith, H. M., & Samach, A. (2013). Constraints to obtaining consistent annual yields in perennial tree crops. I: Heavy fruit load dominates over vegetative growth. *Plant Science*, *207*, 158-167. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.02.014

Sparks, D. (1992). *Pecán Cultivars: The orchard's foundation*. Pecán Productions Innovations.

Sparks, D. (2005). Adaptability of Pecán as a species. *HortScience*, *40*(5), 1175–1189. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.5.1175

Worley, R. (1990). Pecán tree spacing and tree size. In B. W. Wood & J. A. Payne (Eds.), *Pecán husbandry: Challenges and opportunities* (pp. 143-151). USDA.

Zhang, R., Peng, F., & Li, Y. (2015). Pecán production in China. *Scientia Horticulturae*, *97*, 719-727. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.035