

INVESTIGACIÓN

Estrategias de conservación de nuez pecán según su destino de comercialización

Marina G. Panozzo*, Luz Marina Zapata**, Andrea Biolatto*

Resumen

En Argentina, los productores de nuez pecán aplican diversas prácticas poscosecha; sin embargo, desconocen cómo estas impactan en la calidad de los frutos. Algunas de estas prácticas implican el uso de frío, lo que aumenta los costos de almacenamiento. Se investigó el efecto de diferentes tratamientos poscosecha con el fin de reducir el uso de frío y recomendar estrategias de conservación a los productores según el destino de comercialización. Se estudiaron tres tratamientos: T_1 , a través del cual nueces peladas envasadas en envase de poliamidas en AM ($70\%N_2-30\%CO_2$) se conservaron a $20 \pm 1^\circ C$ durante nueve meses; T_2 , donde nueces con cáscara se conservaron a $5 \pm 1^\circ C$ durante tres meses, luego se pelaron, envasaron en AM y almacenaron a $20 \pm 1^\circ C$ durante seis meses; T_3 , por el cual nueces con cáscara se conservaron a $5 \pm 1^\circ C$ durante seis meses, luego se pelaron, envasaron en AM y almacenaron a $20 \pm 1^\circ C$ durante tres meses. Las nueces de T_1 y T_2 mantuvieron una calidad aceptable durante 180 días y 270 días, respectivamente. Los frutos de T_3 tuvieron mayor pérdida de calidad, observándose un incremento del índice de peróxidos, oscurecimiento de frutos, aumento de humedad, disminución de sabores «dulce» y «típico» e incremento de sabores «rancio» y «amargo». En conclusión, el T_1 mantuvo la calidad de las nueces por 180 días prescindiendo del uso de frío –estas nueces podrían destinarse a mercado interno o de exportación de rápida y alta demanda–, mientras que el T_2 mantuvo la calidad de las nueces por 270 días reduciendo el uso de frío –estos frutos podrían destinarse a mercados distantes de exportación como China–.

Palabras clave: Prácticas poscosecha, calidad, conservación, almacenamiento

Procedencia: Este artículo surge a partir del trabajo de tesis de la autora Marina Panozzo para obtener el grado de doctora en Ingeniería, mención en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Entre Ríos. El trabajo experimental se desarrolló en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia, en la EEA Concepción del Uruguay y en la Facultad de Ciencias de la Alimentación (FCAL) de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). Un trabajo preliminar se presentó en el III Simposio Sudamericano de Nuez Pecán, realizado en 2024 en la República Oriental del Uruguay. Presentado el 20/4/2026, aceptado el 3/8/2026 y publicado 3/9/2026.

DOI: <https://doi.org/10.33255/3778/2642>

Autoría: *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). **Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos - ICTAER (UNER-Conicet), Facultad de Ciencias de la Alimentación (UNER), Argentina.

Contacto: panozzo.marina@inta.gob.ar



Estratégias de conservação de noz-pecã dependendo do destino de comercialização

Resumo

Na Argentina, os produtores de noz-pecã aplicam diversas práticas pós-colheita. No entanto, desconhecem como isso afeta a qualidade dos frutos. Algumas destas práticas implicam o uso de frio, o que aumenta os custos de armazenamento. Foi investigado o efeito de diferentes tratamentos pós-colheita com o objetivo de reduzir o uso de frio e recomendar estratégias de conservação aos produtores dependendo do destino de comercialização. Se estudou três tratamentos: T_1 , através de quais nozes sem casca, envasadas em saco de poliamidas em AM ($70\%N_2-30\%CO_2$) se conservaram a $20 \pm 1^\circ C$ durante nove meses; T_2 , onde nozes com casca se conservaram a $5 \pm 1^\circ C$ durante três meses, depois se descascaram, envasaram em AM e armazenaram a $20 \pm 1^\circ C$ durante seis meses; T_3 , nozes com casca se conservaram a $5 \pm 1^\circ C$ durante seis meses, depois se descascaram, envasaram em AM e armazenaram a $20 \pm 1^\circ C$ durante três meses. As nozes de T_1 e T_2 mantêm uma qualidade aceitável durante 180 dias e 270 dias, respectivamente. Os frutos de T_3 tiveram maior perda de qualidade, observando um incremento de índice de peróxido, escurecimento dos frutos, aumento de umidade, diminuição de sabores «doce» e «típico» e incremento de sabores «ranço» e «amargo». Concluindo, o T_1 manteve a qualidade das nozes até 180 dias prescindindo do uso de frio –estas nozes poderiam se destinar ao mercado interno ou de exportação de rápida e alta demanda–, enquanto o T_2 manteve a qualidade das nozes até 270 dias reduzindo o uso de frio –estes frutos poderiam destinar-se a mercados distantes de exportação como a China–.

Palavras-chave: Práticas pós-colheita, qualidade, conservação, armazenamento

Postharvest Storage Strategies for Pecan According to Commercial Destination

Abstract

In Argentina, pecan producers apply various postharvest practices; however, they are unaware of how these practices affect pecan quality. Some of these practices involve the use of refrigeration, which increases storage costs. The effect of different postharvest treatments was investigated in order to reduce the use of refrigeration and recommend conservation strategies to producers according to their commercialization destination. Three treatments were studied: T_1 , in which shelled pecans packaged in polyamide packaging under MA ($70\%N_2-30\%CO_2$) were stored at $20 \pm 1^\circ C$ for nine months; T_2 , in which in-shell pecans were stored at $5 \pm 1^\circ C$ for three months, then shelled, packaged under MA, and stored at $20 \pm 1^\circ C$ for six months; T_3 , in which in-shell pecans were stored at $5 \pm 1^\circ C$ for six months, then shelled, packaged under MA, and stored at $20 \pm 1^\circ C$ for three months. Pecans from T_1 and T_2 maintained acceptable quality for 180 days and 270 days, respectively. T_3 pecans exhibited greater quality loss, with an increase in peroxide value, pecan darkening, increased moisture content, decreased «sweet» and «typical» flavors, and increased «rancid» and «bitter» flavors. In conclusion, T_1 maintained pecan quality for 180 days without the use of refrigeration –these pecans could be destined

for the domestic market or for fast, high-demand export markets– while T_2 maintained pecan quality for 270 days with reduced use of refrigeration –these pecans could be destined for distant export markets such as China–.

Keywords: Postharvest practices, quality, preservation, storage

Introducción

La industria mundial de la nuez pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] se ha expandido de forma constante, impulsada por la creciente demanda de los consumidores y las condiciones favorables del mercado (Ali et al., 2026). Las épocas de mayor consumo son durante el invierno y las fiestas de Navidad y Año Nuevo (Gaido, 2019). Esta demanda está asociada a que la nuez pecán se destaca entre los alimentos naturales por sus efectos beneficiosos para la salud, ya que es una buena fuente de proteínas, ácidos grasos mono y poliinsaturados, carbohidratos, minerales, fibra dietética, vitaminas esenciales y antioxidantes, entre ellos, compuestos fenólicos y tocoferoles (Fronza et al., 2018; Brungardt et al., 2026).

En 2021-2022, la producción mundial de nuez pecán fue de aproximadamente 129.510 toneladas métricas. Los principales productores fueron Estados Unidos y México, representando aproximadamente el 45 % y el 39 % de la producción total, respectivamente. Sudáfrica es el tercer productor de nuez pecán. Argentina, aunque es un actor menor, produjo alrededor de 2.000 toneladas en 10.000 hectáreas en 2021 y se proyecta que amplíe su área de cultivo entre 700 y 900 hectáreas anualmente. Un aspecto relevante es que tanto Argentina como Sudáfrica se ubican en el hemisferio sur, donde la cosecha de nuez pecán difiere de la temporada del hemisferio norte (Omotonoko et al., 2026), lo que constituye una oportunidad comercial para estos países.

En Argentina la nuez pecán se comercializa en los mercados interno y externo. Se estima que alrededor del 50% de la producción se exporta (Portal-Frutícola, 2022). Se comercializan tanto nueces con cáscara como peladas. Las exportaciones de nuez pecán pelada comenzaron en 2017 y fueron aumentando considerablemente (Perdomo et al., 2021), hasta que en 2021 la proporción de nuez pecán pelada que se exportó fue mayor que la cantidad exportada de nuez con cáscara (Milanich et al., 2022). Un aspecto que el productor tiene en cuenta es que la nuez pecán con cáscara es mucho más sensible a la variación de baja de precios que cuando se la comercializa sin cáscara, mientras que los precios son más estables cuanto mayor es el agregado de valor que presenta la nuez pecán; además, la nuez pelada ofrece mejores oportunidades de negocios y mayor rentabilidad (Gaido, 2019; Torassa et al., 2023).

Gracias a las gestiones iniciadas en 2018 por la Cámara Argentina de Productores de Pecán (CAPPecán), junto con el Clúster del Pecán, ante la Cancillería, el Ministerio de Agricultura de la Nación y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), en 2025 se firmó un protocolo

fitosanitario que autoriza el ingreso de nuez pecán argentina a la República Popular China. Este acuerdo habilitó la exportación de frutos secos al mercado chino, lo que generó nuevas oportunidades comerciales para el sector. En este sentido, resulta relevante destacar que China se posiciona desde 2020 como el principal importador mundial de nuez pecán (InfoCampo, 2023). Este país es un importante consumidor de nuez pecán y necesita importar alrededor de 50.000 toneladas por año para satisfacer la demanda del mercado, además de utilizar su propio suministro interno (Cui et al., 2025). Si el interés de Argentina es introducirse en el mercado chino debe tener en cuenta que desde la recolección de los frutos a la fecha de mayor consumo que es el año nuevo chino (del 21 de enero al 18 de febrero) transcurre un tiempo de 200 a 220 días aproximadamente, por lo que las nueces deben conservar una calidad aceptable durante ese período.

Un aspecto relevante es que en Argentina el manejo poscosecha de la nuez pecán no se encuentra estandarizado, sino que responde a criterios operativos definidos por cada productor. Si bien la producción nacional se encuentra en crecimiento, los volúmenes son aun relativamente bajos, lo que determina que, al momento de la cosecha, por lo general, no se realice la separación por variedad y que las nueces se recolecten y comercialicen como mezclas varietales. Estas condiciones de manejo, representativas de la práctica productiva actual, introducen una variabilidad adicional en las características del producto y en su comportamiento durante el almacenamiento. En este contexto, resulta necesario desarrollar estudios que evalúen la evolución de la calidad de la nuez pecán bajo las condiciones reales de poscosecha aplicadas por los productores, dado que en la actualidad existe escasa información científica disponible sobre estos escenarios.

Se mencionó anteriormente que la nuez pecán se destaca por su perfil lipídico, puesto que aproximadamente el 90 % de su contenido total de ácidos grasos son insaturados, de los cuales más del 60 % son monoinsaturados beneficiosos para la salud (Cui et al., 2025). Los principales ácidos grasos presentes son oleico, linoleico, palmítico y esteárico (Siebeneichler et al., 2024). Sin embargo, debido a su elevada concentración de lípidos, la nuez pecán es susceptible a procesos de deterioro durante el almacenamiento, principalmente asociados a la oxidación lipídica (Zhang et al., 2018). Por ello, con frecuencia se requiere que el almacenamiento se lleve a cabo en condiciones de refrigeración, puesto que un almacenamiento prolongado a temperaturas de 20°C da como resultado nueces oscuras y aumento de compuestos asociados a la oxidación de lípidos (Ribeiro et al., 2020a; Descalzo et al., 2021).

Los métodos de conservación que aplican bajas temperaturas, como la refrigeración, se utilizan habitualmente para la conservación de alimentos debido a la reducción de la tasa de respiración, al retardar la actividad enzimática y las reacciones químicas (Kaale et al., 2011). La nuez pecán almacenada en condiciones de refrigeración mantiene durante más tiempo la composición de compuestos volátiles y los atributos sensoriales característicos a frutos secos recién cosechados (Prabhakar et al., 2022). Si bien la refrigeración es un método muy extendido y fácil de asociar con otros métodos de conservación como la atmósfera controlada, la desventaja es el alto costo de mantener la cadena de frío durante largos períodos de almacenamiento (Siebeneichler et al., 2023), lo que puede constituir un problema para productores de baja escala y pequeñas y medianas empresas (PyMEs), quienes no pueden solventar prolongados tiempos de refrigeración. Por lo tanto, resulta necesario desarrollar alternativas de conservación que minimicen el uso de refrigeración durante el período de almacenamiento previo a la comercialización de las nueces.

En este sentido, tanto para el mercado interno como para exportación, las nueces se almacenan habitualmente con cáscara y se pelan al momento de su comercialización (Thewes et al., 2021). En la práctica productiva, el pelado y envasado en atmósfera modificada se realizan por lo general una vez recibido el pedido de compra. Si bien este procedimiento es ampliamente utilizado por los productores, hasta el momento no se dispone de estudios que evalúen de manera sistemática el efecto de estas prácticas sobre la calidad fisicoquímica y sensorial de la nuez pecán.

Por otro lado, con la apertura del mercado chino para la exportación, se hace imprescindible conocer las condiciones de arribo de la mercadería a ese país, como así también a otros destinos de comercialización. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de distintas estrategias de conservación aplicadas a nivel productivo sobre la calidad de la nuez pecán y proponer recomendaciones de manejo poscosecha según el destino de comercialización, procurando minimizar el uso de refrigeración.

Materiales y métodos

Muestras

Se trabajó con mezcla de nuez pecán de las variedades Mohawk (5 kg), Stuart (3 kg), Starking (3 kg) y Pawnee (6 kg) provenientes de fincas rurales de la provincia de Entre Ríos, Argentina. La utilización de una mezcla varietal responde a la modalidad de manejo predominante en los sistemas productivos locales,

según se expuso anteriormente: la cosecha se realiza habitualmente sin segregación por variedad debido al bajo volumen de producción por cultivar y a las limitadas posibilidades de comercialización diferenciada. En consecuencia, los ensayos se llevaron a cabo utilizando las nueces en las mismas condiciones en que son recolectadas y manejadas por los productores, con el fin de evaluar la evolución de la calidad durante el almacenamiento bajo prácticas representativas del manejo poscosecha actual.

Las nueces, una vez recolectadas, se secaron a 32 ± 1 °C en estufa con circulación forzada de aire (Instrumentalia, DHG 9240), hasta alcanzar aproximadamente un 4 % de humedad en la pepita.

Procedimientos

En la Figura 1 se muestra un esquema de cómo se procedió en este estudio.

Las nueces cosechadas se dividieron en tres fracciones para ser utilizadas en los tratamientos que se describen a continuación.

Tratamiento 1 (T_1). Las nueces se pelaron en forma manual, se envasaron en atmósfera modificada (AM) en cantidades de 100 g y se almacenaron en oscuridad a 20 ± 1 °C durante nueve meses. Como envases se utilizaron bolsas tricapa (Idelpo) de 90 μ de espesor, confeccionadas con poliamidas de baja permeabilidad ($pH_2O = 0,6$ g/m² d y $pO_2 = 30$ cm³/m² d a 23 °C). El tratamiento consistió en una mezcla de 70 % de nitrógeno y 30 % de dióxido de carbono (Aligal 13 de Air Liquide Argentina) utilizando envasadora de vacío (Ehrlich Múltiple 315).

Tratamiento 2 (T_2). Las nueces con cáscara se conservaron en bolsas de red en cantidades de 200 g a 5 ± 1 °C en cámara modular (Coirón) durante tres meses. Transcurrido este tiempo, se pelaron en forma manual, luego se envasaron en cantidades de 100 g en AM al igual que en el T_1 y se almacenaron en oscuridad a 20 ± 1 °C durante seis meses.

Tratamiento 3 (T_3). Las nueces con cáscara se conservaron en bolsas de red en cantidades de 200 g a 5 ± 1 °C en cámara modular (Coirón) durante seis meses. Transcurrido este tiempo, se pelaron y envasaron en AM en cantidades de 100 g y se almacenaron, al igual que en el T_1 , en oscuridad a 20 ± 1 °C durante tres meses.

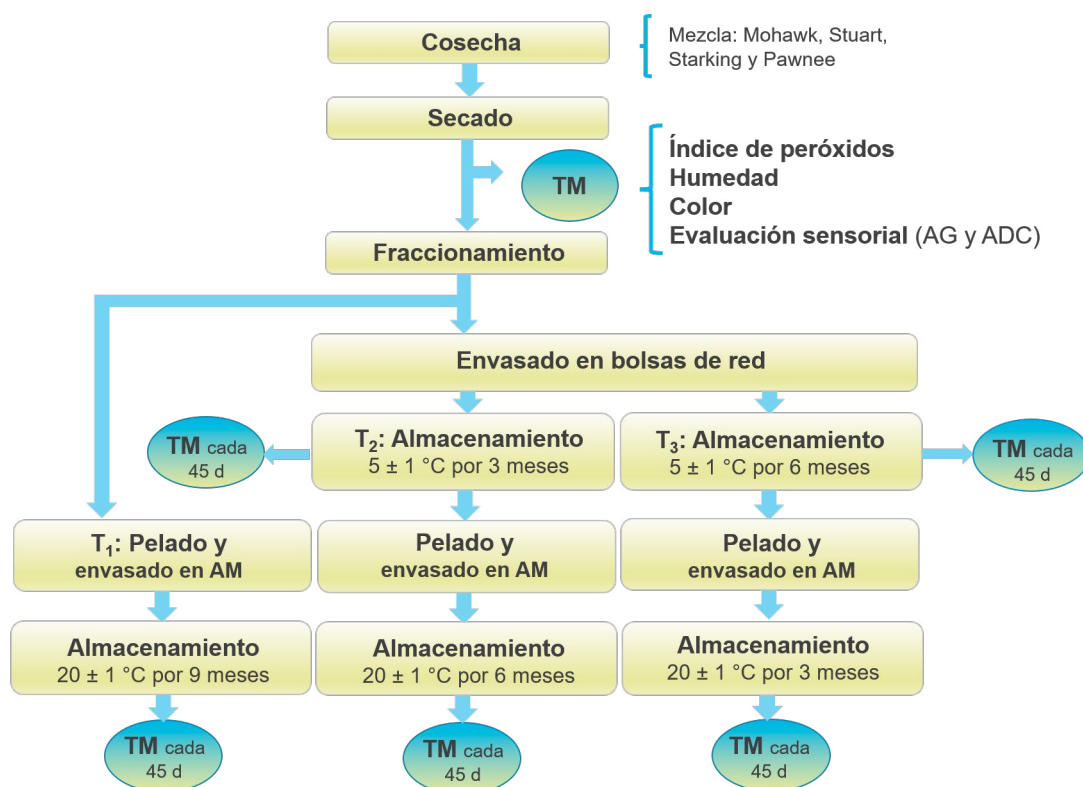


Figura 1. Estudio de la evolución de la calidad de la nuez pecán pelada y envasada en atmósfera modificada (AM)

Referencias: TM: Toma de muestra. AG: Aceptación global. ADC: Análisis Descriptivo Cuantitativo.

Determinaciones analíticas

Para evaluar la calidad de las nueces pecán de cada tratamiento, cada 45 días se extrajeron tres bolsas por tratamiento y se realizaron determinaciones de índice de peróxidos (IP), humedad (H), color y evaluación sensorial. El IP y la H se determinaron según lo indica la AOAC en los métodos 965.33.2005 y 925.40.2005, respectivamente.

El color se estudió evaluando los parámetros correspondientes al sistema CIE: L^* , a^* , b^* . Las determinaciones de luminosidad (L^*) y los parámetros a^* y b^* se efectuaron con colorímetro triestímulo (Minolta CR300, Japón) en las siguientes condiciones: iluminante D65, ángulo del observador 10°, SCE (componente especular excluido). La lectura se realizó en nueces peladas, en la cara inferior de quince mitades por bolsa. Todos los resultados se expresaron como promedio $\pm$ desviación estándar. Adicionalmente se calculó el Índice de Oscurecimiento (IO) según las Ecuaciones 1 y 2 propuestas por Buera et al. (1985):

$$IO = \frac{100 \times (x \times 0,31)}{0,172} \quad (1)$$

$$\text{Siendo: } x = \frac{a^* + 1,75 \times L^*}{5,645 \times L^* + a^* - 3,012 \times b^*} \quad (2)$$

El análisis sensorial se realizó mediante panel de jueces entrenados, cinco hombres y seis mujeres, de entre 25 y 60 años. Se trabajó en una sala acondicionada según lo establece la Norma IRAM 20003 (2012). Los jueces realizaron la evaluación sensorial en cabinas individuales iluminadas con luz blanca, acondicionadas a temperatura de 20 °C. Las muestras se suministraron a los jueces peladas y troceadas, servidas en pirotines y codificadas con números de tres dígitos al azar, diferentes en cada evaluación y presentadas en forma aleatoria. Se utilizó una escala no estructurada de 10 cm anclada en los extremos, para evaluar atributos de color (0 = marrón claro, 10 = marrón oscuro), sabor (dulce, típico, rancio y amargo) (0 = ausente, 10 = intenso) y textura (0 = blanda, 10 = crujiente). También se valoró la aceptación global (AG), empleando una escala hedónica de 9 puntos (Civille y Carr, 2015). Para el análisis de los resultados emitidos por los jueces a cada nivel de aceptación se asignó una puntuación, correspondiendo a «Me disgusta muchísimo» el valor 1 y a «Me gusta muchísimo» el valor 9. La marcación 5 se definió como el límite de calidad o aceptabilidad (*cut-off*), marcación que se corresponde con el nivel de aceptación «Ni me gusta ni me disgusta» (Franklin et al., 2017).

Análisis estadístico

Se realizaron comparaciones de medias de los parámetros fisicoquímicos y sensoriales mediante Análisis de Varianza y Test de Rango Múltiple según Tukey ($p < 0,05$). Además, se estudió la relación entre los atributos de calidad evaluados construyendo una matriz de correlaciones. Para los estudios estadísticos se utilizó el software STATGRAPHICS Centurión XV Versión 15.2.06.

Resultados

Humedad (H)

El contenido de H inicial de las nueces fue de $3,41 \pm 0,18$ g/100g (Figura 2). A los 45 días de almacenamiento las nueces del T_1 tuvieron una H 26 % superior al valor inicial, mientras que las nueces de los T_2 y T_3 no mostraron diferencias significativas con la H registrada al inicio del ensayo. En los días posteriores los frutos secos del T_1 tuvieron valores de este parámetro inferiores a los registrados en el día 45, alcanzando al final del ensayo $3,44 \pm 0,04$ g/100g de H.

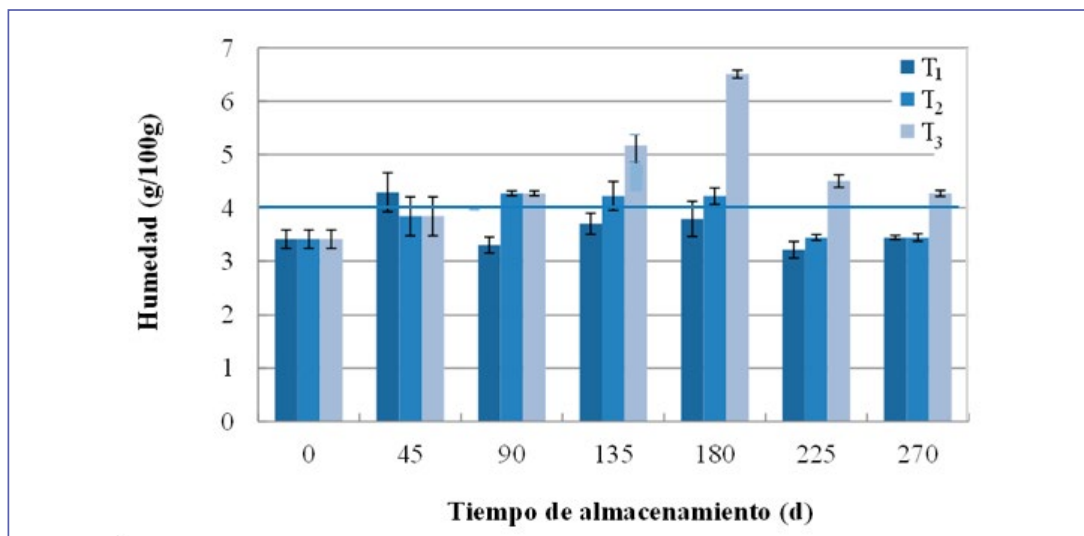


Figura 2. Evolución del contenido de humedad de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: El trazo azul marca la humedad ideal de conservación para nueces pecán (4%).

T₁: Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T₂: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T₃: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

En el día 90 las nueces de T₂ y T₃ no mostraron diferencias significativas e incrementaron en un 25 % el contenido de H respecto del valor inicial, alcanzando los $4,27 \pm 0,10$ g/100g. Adicionalmente, para ese tiempo de almacenamiento estas nueces tuvieron un 29 % más de H que las nueces del T₁. Conviene notar que, hasta este período de almacenamiento, las nueces de T₂ y T₃ se mantuvieron almacenadas con cáscara en bolsas de red a 5 ± 1 °C.

A partir del día 135 las humedades registradas en las muestras de nueces de T₁ y T₂ fueron similares y para el día 270 no mostraron diferencias significativas, alcanzando valores en T₁ de $3,44 \pm 0,04$ g/100g y en T₂ de $3,44 \pm 0,07$ g/100g.

En cambio, las nueces del T₃ tuvieron un incremento mucho mayor de la H. Este incremento varió entre el 25 % y el 91 %, dependiendo del tiempo de almacenamiento. A los 180 días de almacenamiento el valor de este parámetro fue de $6,51 \pm 0,08$ g/100g, y luego disminuyó a $4,27 \pm 0,05$ g/100g a los 270 días. Se observa en la Figura 2 que, al igual que en las nueces de los T₁ y T₂, hacia el final del almacenamiento la H disminuyó; sin embargo, estas nueces tuvieron un contenido de H superior al valor inicial.

Índice de peróxido (IP)

El IP de las nueces al inicio del ensayo fue de $0,11 \pm 0,03$ meq O_2 /kg aceite y luego aumentó con el incremento del tiempo de almacenamiento (Figura 3).

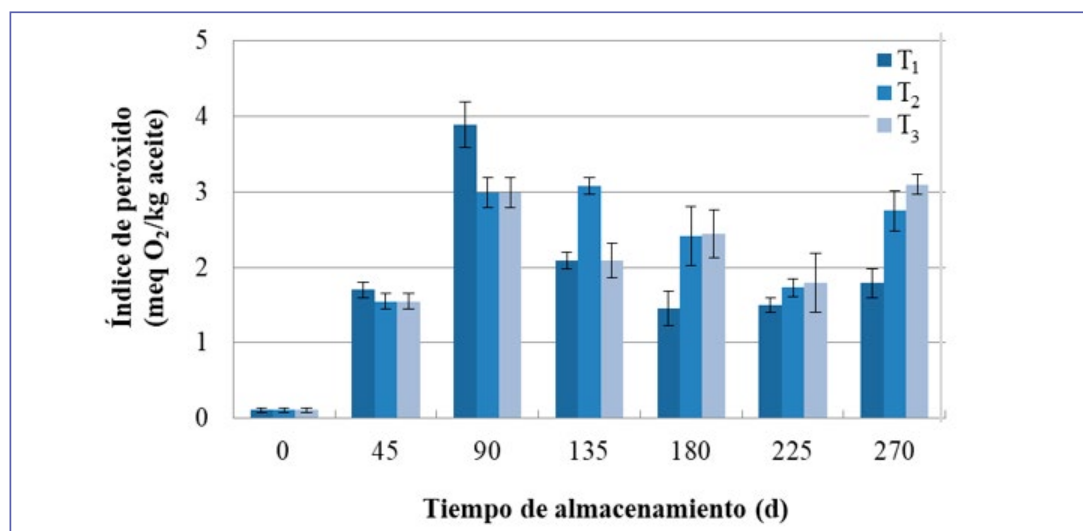


Figura 3. Evolución del índice de peróxidos de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: T₁: Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T₂: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T₃: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

En los primeros 45 días no se observaron diferencias significativas en el IP de las nueces de los diferentes tratamientos, siendo el promedio de $1,60 \pm 0,08$ meq O_2 /kg aceite. Las diferencias en este parámetro comenzaron a manifestarse a los 90 días de almacenamiento, tiempo en el que las nueces del T₁ alcanzaron el valor máximo de $3,89 \pm 0,30$ meq O_2 /kg aceite. Posteriormente el IP disminuyó hasta los 180 días para mantenerse sin diferencias significativas hasta los 270 días que duró el estudio, con un IP promedio de $1,58 \pm 0,18$ meq O_2 /kg aceite.

En las nueces del T₂ el IP aumentó hasta el día 90 de almacenamiento; luego, entre los 90 y 135 días, se mantuvo en $3,03 \pm 0,06$ meq O_2 /kg aceite, y posteriormente disminuyó y volvió a aumentar, alcanzando hacia el final del ensayo el valor de $2,75 \pm 0,27$ meq O_2 /kg aceite. En las nueces del T₃ también

se observó un incremento gradual del IP a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, hasta alcanzar el valor de $2,99 \pm 0,20$ meq O_2 /kg aceite a los 90 días. A continuación, de igual manera que el T_2 , el IP disminuyó y volvió a aumentar hacia el final del ensayo, alcanzando los $3,10 \pm 0,13$ meq O_2 /kg aceite.

Parámetros instrumentales de color

En cuanto al color de la pepita medida en forma instrumental, el parámetro a^* , que señala el color rojizo de las nueces, fue de $6,23 \pm 1,30$ al inicio de los ensayos; luego, durante el transcurso del almacenamiento, se incrementó. En el T_1 este parámetro tuvo un máximo de $11,38 \pm 1,73$ a partir del día 225 y se mantuvo hasta el final del almacenamiento. Los otros dos tratamientos también presentaron los valores más altos de a^* hacia el final del almacenamiento, siendo a los 270 días el valor de T_2 , $11,00 \pm 1,39$ y el de T_3 , $9,88 \pm 1,73$ (Figura 4). El incremento del parámetro a^* al final del almacenamiento respecto del valor inicial fue del 78 %, 77 % y 59 % para los T_1 , T_2 y T_3 , respectivamente. Para un mismo tiempo de almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre las medidas de a^* de los distintos tratamientos.

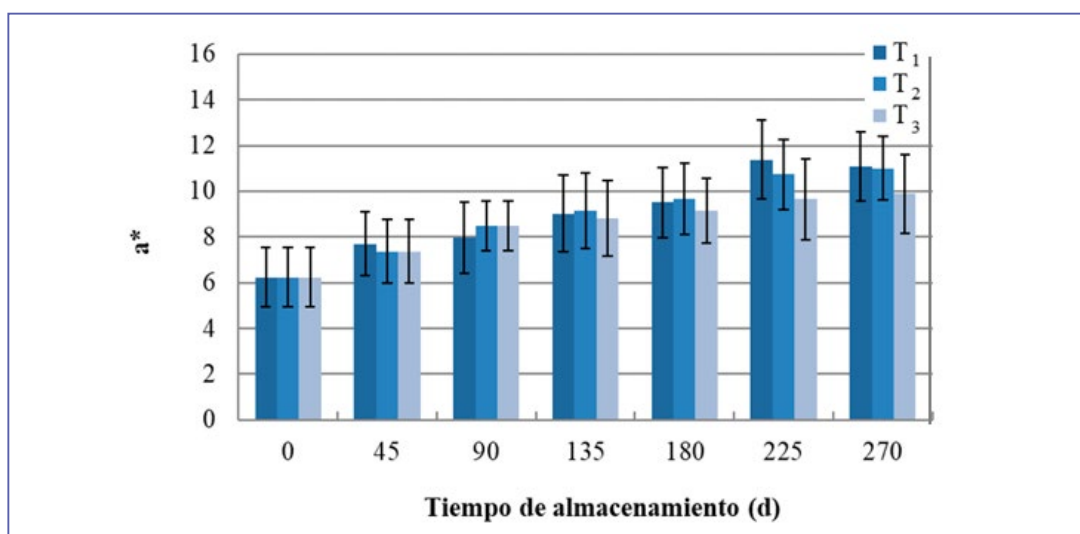


Figura 4. Evolución del parámetro de color a^* de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: T_1 : Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T_2 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T_3 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

El parámetro de color b^* , que hace referencia a las tonalidades amarillas de las nueces, tuvo un valor inicial de $33,10 \pm 1,79$. Al finalizar los ensayos sus valores fueron para T_1 , $31,91 \pm 2,14$; T_2 , $31,16 \pm 3,73$ y T_3 , $33,78 \pm 2,59$ (Figura 5). No se observaron diferencias significativas de la componente b^* medidas al inicio y al finalizar los ensayos. Para un mismo tiempo de almacenamiento tampoco se observaron diferencias significativas entre los valores medios de los tratamientos.

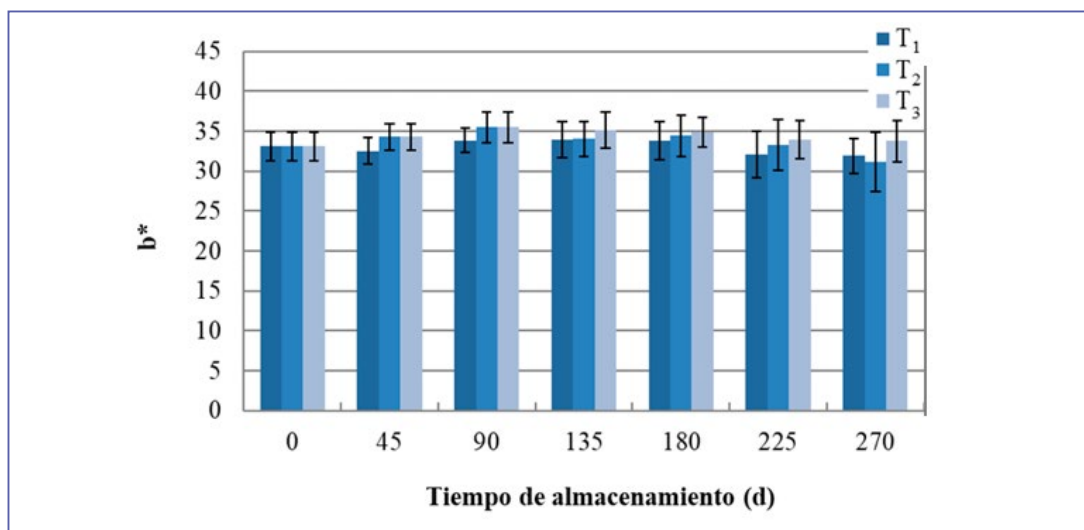


Figura 5. Evolución del parámetro de color b^* de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: T_1 : Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T_2 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T_3 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

Al iniciar los ensayos, la luminosidad (L^*) fue de $49,34 \pm 3,20$. Luego de 270 días de almacenamiento tomó los valores de $44,62 \pm 2,82$ para las nueces de T_1 , $41,33 \pm 3,58$ para las de T_2 y $47,27 \pm 4,41$ para las de T_3 (Figura 6). Únicamente se observaron diferencias significativas en los valores medios de L^* de nueces al inicio del ensayo y a los 270 días de almacenamiento para el T_2 , donde la luminosidad disminuyó un 16 %.

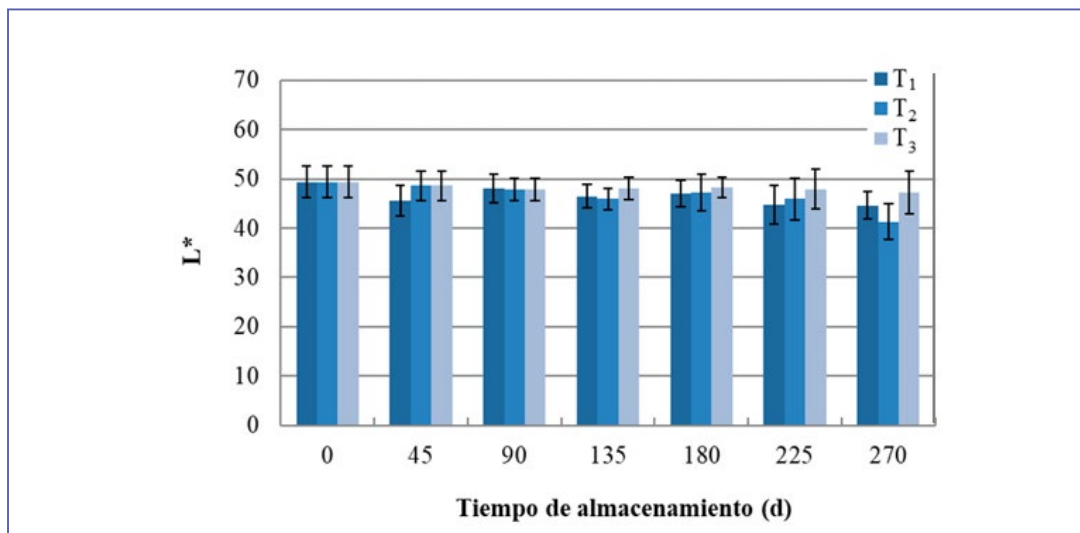


Figura 6. Evolución del parámetro de color L^* de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: T_1 : Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T_2 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T_3 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

El IO estuvo comprendido entre el valor inicial $90,37 \pm 3,28$ y $100,32 \pm 6,71$, no observándose diferencias significativas entre ninguna de las medidas de este parámetro correspondiente a los distintos tratamientos y tiempos de almacenamiento (Figura 7).

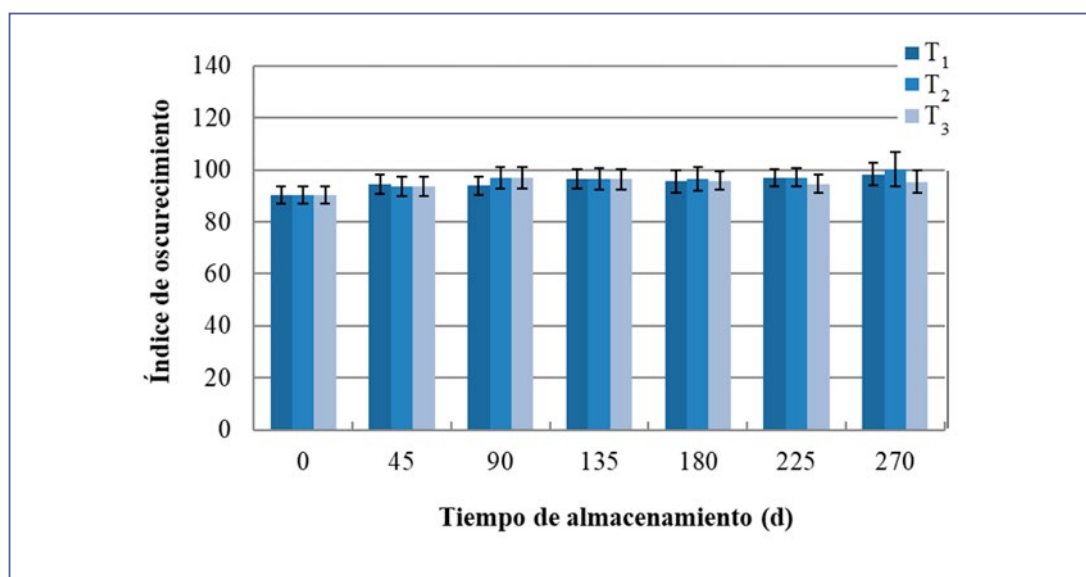


Figura 7. Evolución del índice de oscurecimiento de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: T₁: Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T₂: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T₃: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

Parámetros sensoriales

En cuanto a la evaluación sensorial del color, al inicio de los ensayos los jueces catalogaron las nueces con la puntuación $2,0 \pm 0,2$. A medida que transcurrió el almacenamiento, las nueces se fueron oscureciendo, hasta alcanzar las calificaciones de $5,0 \pm 0,4$ en T₁; $5,9 \pm 0,4$ en T₂ y $8,5 \pm 0,6$ en T₃ (Figura 8.A). A partir de los 225 días de almacenamiento los jueces señalaron que las nueces del T₃ fueron más oscuras que las de los T₁ y T₂.

El sabor dulce de las nueces partió de una puntuación de $4,0 \pm 0,3$ y luego este atributo aumentó en los primeros 90 días de almacenamiento a valores de $4,9 \pm 0,3$ en T₁, $5,2 \pm 0,4$ en T₂ y $5,5 \pm 0,4$ en T₃. Sin embargo, al final de los ensayos el sabor dulce de las nueces disminuyó, alcanzando puntuaciones de $2,7 \pm 0,2$ en las nueces de los T₁; $2,0 \pm 0,1$ en T₂ y de $0,8 \pm 0,1$ en las nueces del T₃ (Figura 8.B).

Hasta el tiempo de almacenamiento de 180 días, no se observaron diferencias significativas en el sabor dulce entre tratamientos. A los 225 días el sabor dulce de las nueces de T₃ fue inferior al de las nueces de T₁ y T₂, mientras que

a los 270 días de almacenamiento se observaron diferencias significativas en este atributo en las nueces de los tres tratamientos.

Referido al «Sabor típico», se observa en la Figura 8.C que al comenzar con los ensayos los jueces le asignaron la calificación de $6,2 \pm 0,4$; sin embargo, esta disminuyó a medida que transcurrió el período de almacenamiento, hasta alcanzar al final de los ensayos las puntuaciones de $3,8 \pm 0,3$ en T_1 ; $3,3 \pm 0,2$ en T_2 y $0,7 \pm 0,2$ en T_3 , no observándose diferencias estadísticas significativas entre los T_1 y T_2 . Nuevamente el mayor deterioro se observó en el T_3 .

En la Figura 8.D se puede ver que al inicio de los ensayos los jueces señalaron ausencia de sabor rancio. Pero, a medida que transcurrió el período de almacenamiento, el sabor rancio se incrementó, hasta alcanzar al final de los ensayos las calificaciones de $4,8 \pm 0,4$ en T_1 ; $4,6 \pm 0,4$ en T_2 y $6,0 \pm 0,5$ en T_3 . En este atributo no se observaron diferencias significativas en las nueces de T_1 y T_2 , mientras que el sabor rancio fue notablemente superior en las nueces del T_3 .

En la figura también se puede observar que las nueces del T_3 , durante los primeros 180 días de almacenamiento (nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C), tuvieron calificaciones de sabor rancio similares o menores a las nueces de T_1 y T_2 . Posteriormente, cuando las nueces de T_3 se pelaron, envasaron en AM y conservaron a 20 ± 1 °C, evidenciaron un desarrollo importante del sabor rancio.

El incremento del sabor rancio fue acompañado por un aumento del sabor amargo (Figura 8.E). Las nueces de los T_1 y T_2 , al final de los ensayos, alcanzaron las calificaciones de $2,5 \pm 0,2$ y $2,6 \pm 0,2$, respectivamente, no observándose diferencias significativas. Sin embargo, las nueces del T_3 tuvieron al final un sabor amargo superior, alcanzando la puntuación de $4,8 \pm 0,3$.

En la Figura 8.F se puede observar que al inicio de los ensayos los jueces asignaron al atributo «textura» la calificación de $7,1 \pm 0,4$. Hasta los 90 días de almacenamiento no se observaron diferencias significativas en los valores medios de este atributo en ningún tratamiento. Luego, a medida que transcurrió el período de almacenamiento, la textura fue disminuyendo, hasta alcanzar al final de los ensayos las calificaciones para las nueces del T_1 , $6,1 \pm 0,3$; para las nueces del T_2 , $6,5 \pm 0,3$, y para las del T_3 , $1,5 \pm 0,1$.

No se observaron diferencias significativas en la textura de las nueces de T_1 y T_2 , mientras que la textura fue notablemente inferior en las nueces del T_3 a partir de los 135 días.

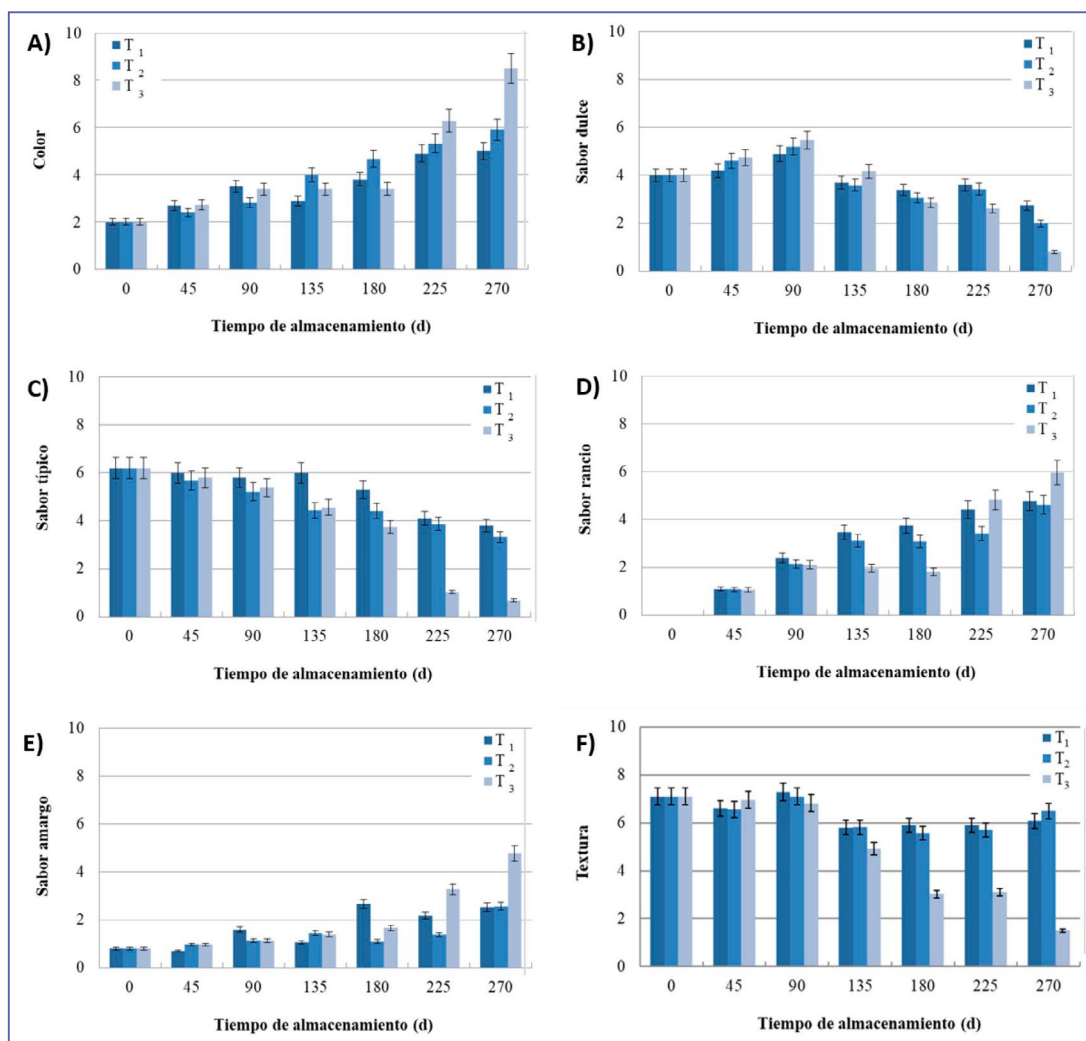


Figura 8. Evolución de los atributos sensoriales de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos. (A) Color, (B) Sabor dulce, (C) Sabor típico, (D) Sabor rancio, (E) Sabor amargo, (F) Textura

Referencias: T₁: Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T₂: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T₃: Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

En la Figura 9 se puede apreciar que, al inicio del almacenamiento, los jueces calificaron la AG con la puntuación $8,0 \pm 0,6$, correspondiendo con el nivel de aceptación «Me gusta mucho». Sin embargo, esta calificación disminuyó a medida que transcurrió el período del almacenamiento, hasta alcanzar al final

de este las calificaciones de $3,9 \pm 0,3$ («Me disgusta un poco») en las nueces del T_1 ; $5,1 \pm 0,4$ («Ni me gusta ni me disgusta») en las del T_2 y la puntuación de $2,8 \pm 0,2$ en las del T_3 («Me disgusta moderadamente»).

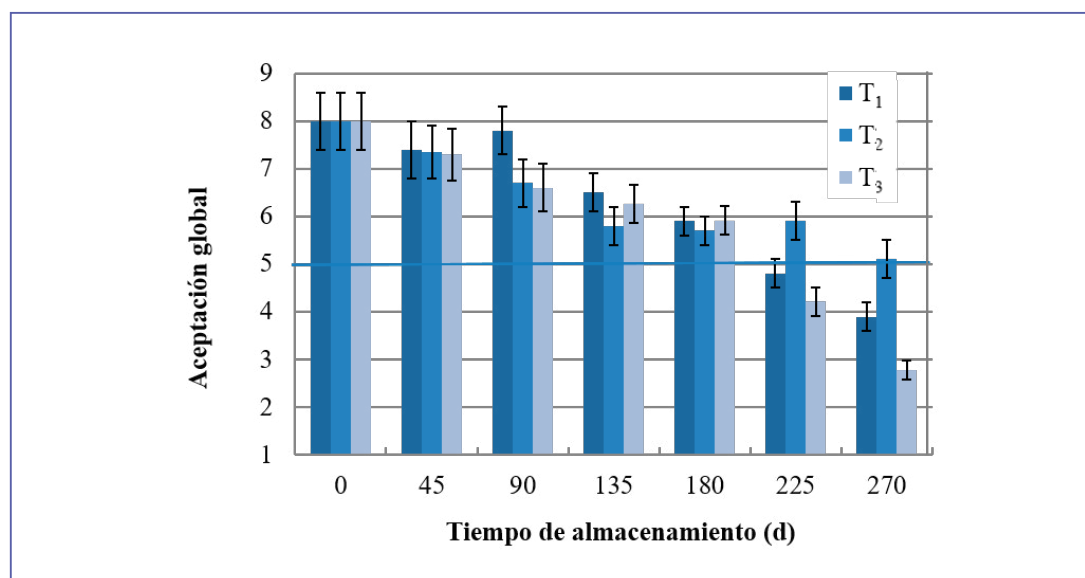


Figura 9. Evolución de la aceptabilidad global de las nueces pecán almacenadas con diferentes tratamientos

Referencias: El trazo azul marca el límite de aceptabilidad (*cut off*) preestablecido para nueces pecán («Ni me gusta, ni me disgusta»).

T_1 : Nueces peladas conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante nueve meses.

T_2 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante tres meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante seis meses.

T_3 : Nueces con cáscara conservadas a 5 ± 1 °C en bolsas red durante seis meses y posteriormente peladas y conservadas en envase con atmósfera modificada a 20 ± 1 °C durante tres meses.

Correlación entre atributos de calidad

En relación con la correlación entre atributos de calidad, se identificó una alta correlación entre aquellos cuantificados de forma instrumental y los evaluados sensorialmente (Tablas 1, 2 y 3).

Para la evaluación sensorial de color, se destacan los altos coeficientes de correlación negativos con la luminosidad y positivos con el parámetro a^* , señalando que a medida que disminuyeron los valores de L^* y aumentaron los de a^* los jueces puntuaron a las nueces con un marrón más oscuro. También se encontró una alta correlación entre los parámetros instrumentales de color –sobre todo, L^* y a^* – y los atributos sensoriales de sabor y la textura,

observándose que cuanto más bajo fue L^* y más alto a^* , mayores fueron los sabores rancio y amargo, menores fueron el dulzor y sabor típico, y la textura de las nueces fue menos crujiente.

La correlación entre la AG y los valores L^* fue positiva, indicando que cuanto más baja fue la componente gris (L^* más alta), las nueces fueron más aceptables; mientras que la alta correlación negativa entre la AG y el parámetro a^* señaló que cuanto más oscuras fueron las nueces, estas tuvieron menor aceptabilidad.

Adicionalmente, los coeficientes de correlación señalaron que nueces con mayor intensidad en el dulzor y en el sabor típico tuvieron texturas más crujientes, mientras que nueces con mayor intensidad de los sabores rancio y amargo tuvieron texturas más blandas.

Tabla 1. Coeficientes de correlación de los atributos de calidad de nuez pecán del T₁

	a^*	b^*	IO	IP	H	AG	Color	Dulzor	Sabor Típico	Sabor Rancio	Sabor Amargo	Textura
L^*	-0,1582	-0,3790	-0,8036	-0,8558	-0,3345	0,8720	-0,8420	0,5278	0,7732	-0,8746	-0,7698	0,7064
a^*		0,7698	0,5433	0,5027	-0,0814	0,3142	-0,3229	0,7375	0,4480	-0,2210	-0,4240	0,5476
b^*			0,8525	0,7861	0,5709	0,0886	-0,1629	0,4613	0,1855	-0,0861	-0,2913	0,0787
IO				0,9850	0,6025	-0,4427	0,3734	-0,0282	-0,3315	0,4364	0,2516	-0,3825
IP					0,5549	-0,5141	0,4487	-0,1240	-0,3786	0,5001	0,3444	-0,4258
H						-0,2052	0,0978	-0,1974	-0,2197	0,0810	0,0349	-0,5371
AG							-0,9938	0,8474	0,9740	-0,9843	-0,9750	0,8903
Color								-0,8423	-0,9712	0,9922	0,9876	-0,8495
Dulzor									0,8681	-0,7696	-0,8981	0,8962
Sabor Típico										-0,9575	-0,9536	0,9188
Sabor Rancio											0,9630	-0,8082
Sabor Amargo												-0,8406

Referencia: Valores en negrita indican correlación entre las variables.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de los atributos de calidad de nuez pecán del T₂

	a*	b*	IO	IP	H	AG	Color	Dulzor	Sabor Típico	Sabor Rancio	Sabor Amargo	Textura
L*	-0,8313	0,7226	-0,8504	-0,5400	0,2659	0,8414	-0,9080	0,1133	0,9000	-0,8874	-0,9874	0,3219
a*		-0,3850	0,9237	0,6356	-0,0491	-0,9683	0,9788	-0,1779	-0,9730	0,9662	0,7503	-0,6818
b*			-0,2740	0,1785	0,7947	0,3240	-0,5375	0,2033	0,5184	-0,3913	-0,7431	-0,0157
IO				0,8330	0,1484	-0,9433	0,9071	0,0312	-0,8897	0,9517	0,8118	-0,4748
IP					0,6339	-0,7609	0,5719	0,0496	-0,6024	0,7509	0,5087	-0,4227
H						-0,1260	-0,1987	-0,0712	0,1105	0,0648	-0,2984	-0,2581
AG							-0,9379	0,2752	0,9697	-0,9946	-0,7607	0,7155
Color								-0,1252	-0,9803	0,9564	0,8458	-0,5770
Dulzor									0,3005	-0,2303	-0,0069	0,6752
Sabor Típico										-0,9790	-0,8221	0,6833
Sabor Rancio											0,8175	-0,6595
Sabor Amargo												-0,1697

Referencia: Valores en negrita indican correlación entre las variables.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de los atributos de calidad de nuez pecán del T₃

	a*	b*	IO	IP	H	AG	Color	Dulzor	Sabor Típico	Sabor Rancio	Sabor Amargo	Textura
L*	-0,8643	0,6723	-0,5689	-0,3764	-0,3829	0,8294	-0,7374	0,6763	0,7260	-0,7603	-0,5727	0,6334
a*		-0,6509	0,5192	0,4526	0,1625	-0,9673	0,9520	-0,7766	-0,8694	0,9629	0,8465	-0,7433
b*			0,1799	-0,5059	-0,5612	0,7609	-0,7200	0,7423	0,9024	-0,4951	-0,6708	0,8891
IO				-0,0751	-0,2614	-0,3831	0,3011	-0,2130	-0,0703	0,5788	0,1638	0,1116
IP					0,4181	-0,4749	0,6120	-0,1943	-0,5782	0,5018	0,5565	-0,5740
H						-0,2632	0,2353	-0,3960	-0,3923	0,0936	0,2625	-0,6303
AG							-0,9620	0,8877	0,9367	-0,9276	-0,8811	0,8313
Color								-0,7782	-0,9432	0,9379	0,9530	-0,8394
Dulzor									0,8377	-0,7241	-0,7605	0,8218
Sabor Típico										-0,7900	-0,9134	0,9285
Sabor Rancio											0,8475	-0,6696
Sabor Amargo												-0,8298

Referencia: Valores en negrita indican correlación entre las variables.

Discusión

Para los tres tratamientos estudiados el contenido de H de los frutos tuvo fluctuaciones durante los nueve meses de almacenamiento, observándose una H final superior al valor inicial. El estudio señala que tanto en las nueces de T_2 como de T_3 la H aumentó mientras las nueces se mantuvieron con cáscara almacenadas en bolsas de red a 5 ± 1 °C; que para el caso de T_2 fueron tres meses y para T_3 , seis meses. Esto estaría indicando que las nueces con cáscara absorbieron humedad ambiente. Luego, cuando las nueces se pelaron y envasaron en bolsas tricapa de 90 μ de espesor bajo AM y se almacenaron a 20 ± 1 °C, el contenido de H disminuyó, lo que fue atribuido a la deshidratación ocurrida debido al incremento en la temperatura de almacenamiento.

En este sentido, el tratamiento que mostró un mayor rango de variación fue T_3 . A los 180 días las nueces tuvieron un incremento del 91 % en este parámetro, alcanzando el valor de $6,51 \pm 0,08$ g/100g, lo que afectó negativamente la calidad de los frutos. Una H de 6,5 % en las pepitas de nuez pecán, según Kharel et al. (2019), se corresponde con una actividad acuosa de 0,82. Una actividad acuosa tan alta en los alimentos conduce a un aumento de la movilidad de los componentes y, como resultado, se incrementa la velocidad de las reacciones de deterioro (Hedegaard y Skibsted, 2013). Adicionalmente, un incremento en el contenido de humedad puede influir de manera negativa en propiedades sensoriales como la textura (Raei y Jafari, 2013).

Tomando como referencia que a valores de H inferiores a 4,5 % se evitan reacciones de deterioro (Kharel et al., 2019), podemos notar que las nueces del T_3 a los 135 días y a los 180 días tuvieron contenidos de H superiores a este valor. Cabe aclarar que las nueces de este tratamiento fueron peladas a los 180 días, por lo que el incremento de H de estas nueces se observó cuando se encontraban envasadas en bolsas de red y almacenadas a 5 ± 1 °C. Por su parte, si se toma como referencia 4 % como valor de H para que se conserven las nueces (Thewes et al., 2021; Siebeneichler et al., 2023), los frutos de los tres tratamientos en algún momento del período de almacenamiento superaron ese valor de H.

En cuanto al IP, el parámetro mostró un comportamiento fluctuante en los diferentes tratamientos a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento. Este comportamiento fue atribuido a que la oxidación lipídica involucra la continua formación de hidroperóxidos como productos de oxidación primaria, que luego se descomponen en una variedad de productos secundarios volátiles, no volátiles y poliméricos como aldehídos, alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos e hidrocarburos, entre otros (Shahidi y Zhong, 2005;

Pannico et al., 2015; Ribeiro et al., 2022). La tasa de formación de peróxidos supera la tasa de degradación durante la etapa inicial de la oxidación, para luego ser revertida en las etapas posteriores (Shahidi y Zhong, 2005), lo que justifica el hecho de que el IP de las nueces disminuyó a partir del día 135 o 180 de almacenamiento, dependiendo del tratamiento. Resultados similares al comportamiento observado en la presente investigación fueron publicados por autores como Oro et al. (2008), Ribeiro et al. (2020b) Ormando et al. (2026) y Koç Güler et al. (2017). Oro et al. (2008) encontraron valores fluctuantes de IP en pepitas de pecán envasadas al vacío en envases plásticos de polipropileno y en películas plásticas de nylon-polietileno almacenadas por 150 días a $23,1 \pm 2,1$ °C y $55,6 \pm 4,5$ % humedad relativa (HR). Por su parte, Ribeiro et al. (2020b) también encontraron resultados similares en nuez pecán de la variedad Barton almacenadas a tres temperaturas diferentes (1,5, 10 y 20 °C) y tres presiones parciales de oxígeno (20 kPa, 3 kPa y 1 kPa). Ormando et al. (2026) almacenaron nuez pecán del cultivar Pawnee con cáscara en bolsas de rafia a 20 °C en oscuridad durante dos y cuatro meses; luego las pelaron y almacenaron al vacío durante cero, cuatro, ocho y doce meses también en oscuridad, para finalmente exponerlas a la luz y al ambiente durante 0, 20 y 40 días, observando que los valores de IP obtenidos fueron fluctuantes a lo largo del tiempo para los distintos tratamientos estudiados. En otros frutos secos como avellanas irradiadas y almacenadas durante dieciocho meses también se observó que el IP alcanzó un máximo y luego disminuyó hacia el final del almacenamiento (Koç Güler et al., 2017).

Por lo expuesto, y de acuerdo con lo señalado por Oro et al. (2008), el IP no sería por sí solo un indicador de la calidad de las nueces, puesto que este parámetro no mostró correlación con ninguna de las siguientes variables: tiempo de almacenamiento, momento de pelado de las nueces, temperatura de almacenamiento, envase empleado y momento en el que se aplicó la AM.

Los parámetros instrumentales de color pusieron de manifiesto el oscurecimiento de los frutos de todos los tratamientos a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, lo que fue cuantificado por el incremento en el parámetro a^* y disminución de L^* . Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Por otra parte, se observó que la componente a^* fue el mejor indicador del oscurecimiento para nuez pecán.

Los parámetros de color estudiados L^* , a^* y el IO mostraron correlación con el tiempo de almacenamiento, no así el parámetro b^* . Los valores de los coeficientes de correlación para L^* fueron $-0,7$ para T_1 y $-0,9$ para T_2 y T_3 . El coeficiente de correlación entre la componente a^* y el tiempo de almacenamiento fue $0,9$ para todos los tratamientos; mientras que para el IO fue $0,9$ para

T_1 y T_2 y 0,6 para T_3 . De lo expuesto se puede concluir que las nueces sufrieron un oscurecimiento a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, siendo el parámetro a^* el mejor indicador de este oscurecimiento, ya que fue el que presentó mayor variación durante el almacenamiento. En general, en ninguno de los parámetros de color estudiados se observaron diferencias entre tratamientos, notándose únicamente diferencias en L^* entre los valores inicial y final en las nueces del T_2 .

Ribeiro et al. (2022) conservaron nuez pecán variedad Barton de Brasil peladas y almacenadas a 20 °C y a 10 °C durante seis meses. Para cada temperatura ensayaron tres tratamientos: un tratamiento sin atmósfera controlada y otros dos en atmósfera controlada (2 kPa O_2 y 2 kPa O_2 + 15 kPa CO_2). Al igual que en la presente investigación, los autores observaron que durante el almacenamiento hubo un oscurecimiento de las nueces, sobre todo en los tratamientos sin atmósfera controlada. Los valores de L^* cuantificados (38,5 – 41,2) estuvieron en el orden de los del presente trabajo al día 180 de almacenamiento, los de a^* (7,2 – 8,4) fueron ligeramente inferiores y los de b^* , claramente inferiores (21 – 25). Estos resultados indican que las nueces Barton fueron más oscuras al término de 180 días de almacenamiento. Por otra parte, Ribeiro et al. (2022) también concluyeron que temperaturas más bajas constituyen una mejor estrategia para mantener los atributos de calidad de la nuez pecán. Sin embargo, como ya se mencionó, resulta costoso para pequeños productores mantener durante extensos períodos de tiempo el almacenamiento de la nuez pecán a temperaturas de refrigeración.

El cambio de color en las nueces también fue señalado por los jueces en las pruebas de evaluación sensorial. Sin embargo, los jueces sí observaron diferencias de color entre las nueces de distintos tratamientos a los 270 días de almacenamiento, siendo las nueces del T_3 las calificadas como más oscuras.

Acompañó a este cambio de color una disminución en los sabores dulce y típico y un incremento en los sabores rancio y amargo. El sabor dulce en las nueces del T_1 disminuyó en un 31 % hacia el final del almacenamiento respecto del inicio de los ensayos, en las nueces del T_2 se redujo 50 %, y 80 % en las del T_3 , mientras que el sabor típico se redujo en un 43 % en los frutos de los T_1 y T_2 y en un 87 % en los del T_3 . Por su parte, el sabor amargo se incrementó en un 219 % en las nueces de los T_1 y T_2 y en un 496 % en las del T_3 . Al iniciar los estudios los jueces no detectaron sabor rancio en las nueces, pero sí apareció este atributo a partir del día 45 de almacenamiento, el cual se incrementó hasta finalizar los ensayos. El incremento del sabor rancio en el período de 45 días a 270 días fue 327 % para los frutos de los T_1 y T_2 y de 443 % para los de T_3 .

Investigaciones publicadas por otros autores también señalan un deterioro en los atributos de color y sabor de nueces almacenadas. Al realizar un Análisis Descriptivo sensorial de nueces tipo mariposa de la variedad Chandler luego de 210 días de almacenamiento a temperatura ambiente, Grosso et al. (2017) indicaron que hacia el final del almacenamiento los frutos se fueron oscureciendo. Estos autores trabajaron con nueces recubiertas en carboximetilcelulosa, metilcelulosa, aislado proteico del suero de la leche y sin recubrimiento. Si bien en todos los tratamientos que estudiaron fue disminuyendo el sabor típico a nuez durante el almacenamiento, las nueces no recubiertas fueron las que obtuvieron las clasificaciones de intensidad más bajas de sabor típico. El sabor a nuez es un atributo sensorial característico de este alimento y sirve como indicador sensorial de su calidad y estado de conservación (Riveros et al., 2016; Grosso et al., 2017).

En cuanto al sabor dulce, es sabido que está directamente relacionado con el contenido de azúcar en un producto alimenticio. Una de las reacciones químicas dominantes que ocurren durante el almacenamiento prolongado de alimentos es la reacción de Maillard, que involucra proteínas alimenticias y azúcares reductores. Downs et al. (2016) observaron una disminución de los niveles de azúcares reductores y no reductores durante el almacenamiento de pepitas de nuez tipo mariposa de la variedad Chandler, mientras que Magnuson et al. (2015) publicaron sobre la reducción del sabor dulce de nuez pecán conservada al vacío durante doce meses a temperatura ambiente.

El elevado contenido de aceite y la elevada proporción de ácidos grasos poliinsaturados hace que las nueces sean propensas a enranciarse, lo que provoca el desarrollo de sabores y olores desagradables (Ortiz et al., 2019).

Se señaló que el incremento de los sabores rancio y amargo determinado por los jueces fue significativo. En este mismo sentido, Magnuson et al. (2015) encontraron elevadas intensidades de sabor amargo al iniciar la conservación en dieciséis cultivares de nuez pecán; sin embargo, sólo tuvo ligeros aumentos en la intensidad a lo largo del tiempo. Los autores publicaron, además, que diez de los dieciséis cultivares que evaluaron no tuvieron un aumento significativo ($p > 0,05$) en la intensidad del sabor amargo durante doce meses. En otros frutos secos como el maní, Martín et al. (2016) reportaron la ausencia de cambios en el sabor amargo en maní tostado conservado en distintos envases durante 60 días. No obstante, en este último estudio resultaba más esperable no percibir cambios debido al corto tiempo de conservación que observaron.

Magnuson et al. (2015), como en la presente investigación, hacen referencia a que el atributo «rancio» no estuvo presente en muestras frescas de nuez pecán de dieciséis cultivares estudiados. Sin embargo, este atributo

aumentó en intensidad para todos los cultivares en el transcurso del tiempo de almacenamiento. También Grosso et al. (2020) observaron un aumento en las calificaciones del atributo «sabor oxidado» durante un período de almacenamiento de 161 días en nueces tipo mariposa variedad Chandler, para todos los tratamientos estudiados.

En este mismo sentido, Descalzo et al. (2021) indicaron que los perfiles sensoriales de nuez pecán del cultivar Stuart cambiaron de sabor dulce y sabor típico a un alto sabor amargo y rancio con el almacenamiento. Las puntuaciones sensoriales que obtuvieron para el sabor dulce y el sabor típico disminuyeron, mientras que los sabores amargo y rancio aumentaron durante el almacenamiento a 2 °C y 20 °C.

La textura es el parámetro de calidad donde los jueces valoran las nueces como firmes y crujientes o bien blandas. La textura de los tres tratamientos disminuyó hacia el final de la conservación, no encontrándose diferencias significativas entre T_1 y T_2 para los distintos tiempos de almacenamiento. Sin embargo, para las nueces del T_3 los jueces claramente señalaron las nueces como mucho más blandas respecto a los otros tratamientos, ablandamiento que se puso de manifiesto a partir de los 135 días de conservación. Esto fue atribuido a la mayor humedad que tuvieron las nueces del T_3 ($5,17 \pm 0,55$ g/100g) respecto a las de T_1 y T_2 ($3,70 \pm 0,40$ y $4,22 \pm 0,54$ g/100g, respectivamente) en el período de almacenamiento antes mencionado, teniendo en cuenta que el agua suaviza la estructura y disminuye la fracturabilidad de las nueces, por lo que los jueces asociaron las nueces con menor humedad como nueces más firmes y crujientes (Pleasance et al., 2018). En este sentido, como se mencionó, a partir del día 135 las humedades registradas en las muestras de nueces de los T_1 y T_2 fueron semejantes.

Este comportamiento en la textura de las nueces también fue observado por Oro et al. (2008) durante su ensayo de conservación de nuez pecán, donde la textura pasó de valores de 7,83 y 7,97 para nuez pecán envasada en recipientes plásticos y envasada al vacío, respectivamente, a valores de 4,31 y 5,13 al término de 150 días de almacenamiento a 23 °C. Pleasance et al. (2018) también reportaron disminución significativa de este atributo a lo largo de veinticuatro meses de almacenamiento de almendras crudas envasadas en bolsas de polipropileno o cartón, en distintas condiciones de temperatura y humedad. La textura varió desde el valor inicial 7,2 hasta valores comprendidos entre 6,6 y 4,3, según el tratamiento.

Los atributos sensoriales discutidos anteriormente influyen en la percepción global de los evaluadores, lo que fue mensurado en la presente investigación como AG. Es así que las reacciones de oxidación que se producen en la nuez

pecán provocan el desarrollo de varios sabores y olores (Lawless y Heymann, 2010) que hacen que los alimentos sean inaceptables para los consumidores, reduciendo además su vida útil (O'Brien, 2004). Estas reacciones están relacionadas con los sabores rancios y amargos y con los cambios en el color, lo que puede afectar la opinión del consumidor y disminuir el puntaje de AG de un producto (Grosso et al., 2017).

Teniendo en cuenta el límite de aceptabilidad preestablecido, las nueces del T₂ tuvieron una calidad aceptable a lo largo de todo el período de estudio, alcanzando el nivel de aceptación «Ni me gusta, ni me disgusta» a los 270 días de almacenamiento. Por su parte, los frutos del T₁ fueron aceptables hasta los 225 días y las nueces del T₃ hasta los 180 días de almacenamiento.

De lo expuesto se puede inferir que los T₁ y T₂ fueron los que mantuvieron durante un mayor período de tiempo la calidad de nuez pecán durante el almacenamiento, siendo las nueces del T₂ las que recibieron mejor calificación por parte de los jueces del panel de evaluación sensorial y las que tuvieron una vida útil más prolongada, alcanzando los 270 días. El T₃ debe desestimarse, ya que en estas condiciones las nueces tuvieron una alta humedad hacia el final del almacenamiento, lo que impactó de manera negativa en atributos como la textura y sabores rancio y amargo. Esto se tradujo en una menor aceptabilidad global.

Conclusiones

Atendiendo la necesidad de contar con nuez pecán de buena calidad a lo largo del año y a los resultados obtenidos en esta investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Si los productores de Argentina y Uruguay comercializan nuez pecán, ya sea en mercado interno o de exportación, en las épocas de mayor demanda como son las fechas de las fiestas de Navidad y Año Nuevo, el período de tiempo transcurrido desde la recolección es de aproximadamente 180 días. Los tres tratamientos estudiados conservaron la calidad de las nueces durante ese período de tiempo, por lo que se recomienda que las nueces, a medida que sean recolectadas por los productores, se sequen hasta una humedad de 4% y luego se pelen, se envasen bajo AM (70% de nitrógeno y 30% de dióxido de carbono) en bolsas tricapa de 90 μ de espesor y se almacenen en oscuridad a una temperatura máxima de 20 ± 1 °C durante un período de tiempo que no supere los 225 días.

- En cambio, si el propósito del productor es la exportación a países distantes como China se recomienda que las nueces, a medida que sean

recolectadas por los productores, se sequen y almacenen con cáscara a una temperatura de 5 ± 1 °C durante un período que no supere los 90 días y luego se pelen, se envasen bajo AM (70 % de nitrógeno y 30 % de dióxido de carbono) en bolsas tricapa de 90 μ de espesor y se almacenen a una temperatura máxima de 20 ± 1 °C durante un período de tiempo que no supere los 270 días totales de conservación.

Los estudios de esta investigación proporcionan a productores, exportadoras e industriales diferentes estrategias de conservación de nuez pecán, según el destino de estas, con el fin de minimizar los costos de almacenamiento y las pérdidas de calidad de los frutos durante ese período.

Dado que los distintos cultivares podrían presentar diferencias en su potencial de conservación, investigaciones futuras podrían repetir estos ensayos con cultivares puros, de manera que, al alcanzar un volumen de exportación monovarietal, los productores cuenten con información sobre la vida útil de las nueces comercializadas.

Referencias bibliográficas

- ALI, A.B.; Fernández Velo, J. y Shukla, M. (2026). Essential nutrients' availability in pecan orchards affected by salinity in southern New Mexico and western Texas. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 9(1), e70293. <https://doi.org/10.1002/agg2.70293>
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (2005). *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists* (sexta edición). AOAC International. Maryland.
- BRUNGARDT, J.; Alarcon, Y.; Monteros, M.J.; Chatwin, W.; Randall, J.J. y Bock, C.H. (2026). Comprehensive resequencing reveals new genetic polymorphisms applicable to wild and cultivated pecan. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 73(1), 46.
- BUERA, M.P. Lozano, R.D. y Petriella, C. (1985). Definition of colour in the non enzymatic browning process. *Die Farbe*, 32(33), 318-322.
- CIVILLE, G.V. y Carr, B.T. (2015). *Sensory Evaluation Techniques* (quinta edición). Boca Ratón: CRC Press; Taylor & Francis Group.
- CUI, J.; Zhang, T.; Jiang, X.; Qian, Y.; Huang, W. y Zhu, H. (2025). Comparative analysis of lipid profiles and aroma characteristics in pecan oils: Probing conventional and non-conventional extraction techniques. *Food Chemistry*, 27, 102470. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102470>
- DESCALZO, A.M.; Biolatto, A.; Rizzo, S.A.; Pérez, C.D.; Frusso, E.A.; Carduza, F. y 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*, 179,

111591. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111591>
- DOWNS, M.L.; Baumert, J.L.; Taylor, S.L. y Mills, E.N.C. (2016). Mass spectrometric analysis of allergens in roasted walnuts. *Journal of Proteomics*, 142, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.04.045>
- FRANKLIN, L.M.; Chapman, D.M.; King, E.S.; Mau, M.; Huang, G. y Mitchell, A.E. (2017). Chemical and sensory characterization of oxidative changes in roasted almonds undergoing accelerated shelf life. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 2549-2563. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05357>
- FRONZA, D.; Hamann, J.J.; Both, V.; De Oliveira-Anese, R. y Meyer, E.A. (2018). Pecan cultivation: general aspects. *Ciência Rural*, 48(02). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170179>
- GAIDO, A.P. (2019). «Descomoditización» de la nuez pecan. Trabajo de fin grado. Universidad del CEMA.
- GROSSO, A.L.; Asensio, C.M.; Grosso, N.R. y Nepote, V. (2017). Sensory quality preservation of coated walnuts. *Journal of Food Science*, 82(1), 185-193. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13570>
- GROSSO, A.L.; Asensio, C.M.; Grosso, N.R. y Nepote, V. (2020). Increase of walnuts' shelf life using a walnut flour protein-based edible coating. *LWT*, 118, 108712. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108712>
- HEDEGAARD, R.V. y Skibsted, L.H. (2013). Shelf-life of food powders. En *Handbook of Food Powders. Processes and Properties* (pp. 409-434). Filadelfia: Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.2.409>
- INFOCAMPO (2023). La nuez pecán tiene una misión: sumar a China como nuevo mercado. www.infocampo.com.ar/la-nuez-pecan-tiene-una-mision-sumar-a-china-como-nuevo-mercado
- IRAM. INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (2012). Norma IRAM 20003. Análisis sensorial: guía para la instalación de locales de ensayo. IRAM.
- KAALE, D.L.; Eikevik, M.T.; Rustad, T. y Kolsaker, K. (2011). Superchilling of food: A review. *Journal of Food Engineering*, 107(2), 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.004>
- KHAREL, K.; Prinyawiwatkul, W.; Yemmireddy, V.K.; Graham, C.J. y Adhikari, A. (2019). Effect of hot water treatment of in-shell pecans on physicochemical properties and consumer acceptability of roasted pecan kernels. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 1884-1891. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14096>
- KOÇ GÜLER, S.; Bostan, S.Z. y Çon, A.H. (2017). Effects of gamma irradiation on chemical and sensory characteristics of natural hazelnut kernels. *Postharvest Biology and Technology*, 123, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.007>
- LAWLESS, H.T. y Heymann, H. (2010). *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices* (segunda edición). Nueva York: Springer.
- MAGNUSON, S.; Koppel, K.; Reid, W. y Chambers Iv, E. (2015). Pecan flavor changes during storage. *Journal of the American Pomological Society*, 69(4), 206-214.
- MARTÍN, M.P.; Nepote, V. y Grosso, N.R. (2016). Chemical, sensory, and microbiological stability of stored raw peanuts packaged

- in polypropylene ventilated bags and high barrier plastic bags. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.031>
- MILANICH, D.; Torassa, J. y Lizarralde, J. (2022). Campaña de exportación de nuez pecán 2022. En D'Alessio, M. (ed.), XIII Jornadas Técnico Comerciales del Cluster del Pecán. Concordia, 31 de marzo de 2022 y 1.º de abril de 2022. Entre Ríos: Cluster de la Nuez Pecán.
- O'BRIEN, R.D. (2004). *Fats and Oils – Formulating and Processing for Applications* (segunda edición). Boca Ratón: CRC Press, Taylor & Francias Group.
- OMOTONOKO, J.L.Y.; Polozola, M.; Svyantek, A. y Wang, Z. (2026). Valorization and environmental impacts of pecan waste: A critical review. *Foods*, 15(1), 168.
- ORMANDO, P.; Panozzo, M.; Descalzo, A.; Rizzo, S.; Moreno, K.; Grigioni, G.; Rossetti, L. (2026). Effective management of pecan storage conditions from post-harvest through to market sale. *Agrociencia Uruguay*, 30 (NE1), e1699. <https://doi.org/10.31285/AGRO.30.1699>
- ORO, T.; Ogliari, P.J.; Dias De Mello Castanho Amboni, R.; Barrera-Arellano, D. y Block, J.M. (2008). Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] acondicionadas en diferentes envases. *Grasas y Aceites*, 59, 132-138. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i2.501>
- ORTIZ, C.M.; Vicente, A.R.; Fields, R.P.; Grilo, F.; Labavitch, J.M.; Donis-Gonzalez, I. y Crisosto, C.H. (2019). Walnut (*Juglans regia* L.) kernel postharvest deterioration as affected by pellicle integrity, cultivar and oxygen concentration. *Postharvest Biology and Technology*, 156, 110948. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110948>
- PANNICO, A.; Schouten, R.E.; Basile, B.; Romano, R.; Woltering, E.J. y Cirillo, C. (2015). Non-destructive detection of flawed hazelnut kernels and lipid oxidation assessment using NIR spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 160, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.015>
- PERDOMO, H.; Walauer, C. y Arn, S. (2021). Mercado para noz-peça no Brasil e no mundo. En Madeiros, J.C. (ed.), VI Seminário da Cultura da Noz-peça. Anta Gorda, 20 y 27 de abril de 2021. Anta Gorda: Prefeitura Municipal de Anta Gorda/RS.
- PLEASANCE, E.A.; Kerr, W.L.; Pegg, R.B.; Swanson, R.B.; Cheely, A.N.; Huang, G.; Parrish, D.R. y Kerrihard, A.L. (2018). Effects of storage conditions on consumer and chemical assessments of raw «nonpareil» almonds over a two-year period: Effect of storage on raw almonds. *Journal of Food Science*, 83, 822-830. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14055>
- PORTALFRUTÍCOLA (2022). Nuez Pecán: La nueva producción que se impulsa en Argentina. www.portalfruticola.com/noticias
- PRABHAKAR, H.; Bock, C.H.; Kerr, W.L. y Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and modeling of the processes. *Current Research in Food Science*, 5, 261-271. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.015>
- RAEI, M. y Jafari, S.M. (2013). Influence of modified atmospheric conditions and different packaging materials on pistachio (*Pistacia vera* L.) oil quality. *Latin American Applied Research*, 43(1), 43-46.

- RIBEIRO, S.R.; Klein, B.; Ribeiro, Q.M.; Santos, I.D.; Genro, A.L.G.; Ferreira, D.F.; Hamann, J.J.; Barin, J.S.; Cichoski, A.J.; Fronza, D.; Both, V. y Wagner, R. (2020a). Chemical composition and oxidative stability of eleven pecan cultivars produced in Southern Brazil. *Food Research International*, 136, 109596. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109596>
- RIBEIRO, S.R.; Ribeiro, Q.M.; Klein, B.; Duarte Dos Santos, I.; Forgiarini, S.; Hamann, J.J.; Cichoski, A.J.; Fronza, D.; Brackmann, A.; Both, V. y Wagner, R. (2020b). Effect of low oxygen on quality attributes of «Barton» pecan nuts after long-term storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 263, 109098. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109098>
- RIBEIRO, S.R.; Klein, B.; Dos Santos, I.D.; Thewes, F.R.; Brackmann, A.; Both, V. y Wagner, R. (2022). Effects of controlled atmosphere and storage temperature on the quality of shelled «Barton» pecan nuts during long-term storage. *Food Research International*, 158, 111498. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111498>
- RIVEROS, C.G.; Nepote, V. y Grosso, N.R. (2016). Thyme and basil essential oils included in edible coatings as a natural preserving method of oilseed kernels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 183-191. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7080>
- SHAHIDI, F. y Zhong, Y. (2005). Lipid oxidation: measurement methods. En F. Shahidi (Ed.), *bailey's industrial oil and fat products* (sexta edición). Jhon Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio050>
- SIEBENEICHLER, T.J.; Hoffmann, J.F.; Galli, V. y Zambiasi, R.C. (2023). Composition and impact of pre-and post-harvest treatments/factors in pecan nuts quality. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 46-60 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.010>
- SIEBENEICHLER, T.J.; Crizel, R.L.; De Oliveira Duarte, T.; Carvalho, I R.; Galli, V.; De Souza, R.S.; Martins, C.R.; Ferreira, C.D. y Hoffmann, J.F. (2024). Influence of cultivar on quality parameters of pecans produced in Southern Brazil. *Scientia Horticulturae*, 336, 113423.
- THEWES, F.R.; Both, V.; Thewes, F.R.; Brackmann, A.; Schultz, E.E.; Berghetti, M.R.P. y Ribeiro, S.R. (2021). Interaction of oxygen and moisture content on «Barton» and «Jackson» pecan storage. *Postharvest Biology and Technology*, 179, 111584. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111298>
- TORASSA, J. (2023). Claves del negocio de la exportación: ¿cómo conseguir el mejor precio para mis nueces? En Venticinque, N. (ed.), *Jornadas del Cluster del Pecán*. Concordia, Entre Ríos 30 y 31 de marzo de 2023.
- ZHANG, C.; Yao, X.; Ren, H.; Chang, J. y Wang, K. (2018). RNA-Seq reveals flavonoid biosynthesis-related genes in pecan (*Carya illinoensis*) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(1), 148-158.