

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE LOS ANTIOXIDANTES EN LA EXTENSIÓN DE LA CALIDAD
POSTCOSECHA DE ALMENDRAS DE NUEZ PECANA DE LAS VARIETADES
*Western Schley y Wichita.***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS.

P R E S E N T A

RONALD LECEA OCAÑAS

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

JUNIO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE LOS ANTIOXIDANTES EN LA EXTENSIÓN DE LA CALIDAD
POSTCOSECHA DE ALMENDRAS DE NUEZ PECANA DE LAS VARIEDADES
*Western Schley y Wichita.***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS.

PRESENTA

RONALD LECEA OCAÑAS

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

JUNIO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE LOS ANTIOXIDANTES EN LA EXTENSIÓN DE LA CALIDAD
POSTCOSECHA DE ALMENDRAS DE NUEZ PECANA DE LAS VARIETADES
*Western Schley y Wichita.***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS.

P R E S E N T A

RONALD LECEA OCAÑAS

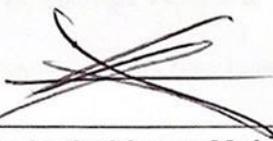
GENERAL ESCOBEDO, N.L.

JUNIO 2022

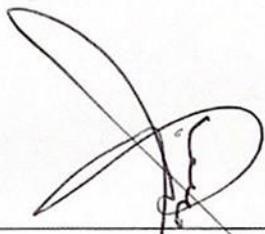
ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS

COMITÉ PARTICULAR



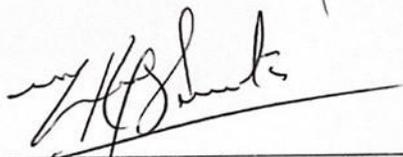
Ph.D. Alejandro Isabel Luna Maldonado
Director de tesis



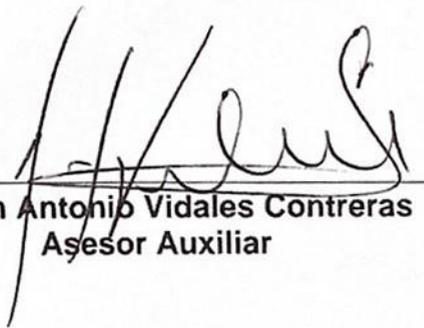
Dr. Juan Florencio Gómez Leyva
Co-Director



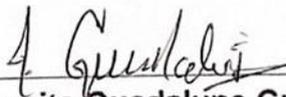
Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero
Asesor Auxiliar



Dr. Cs. Humberto Rodríguez Fuentes
Asesor Auxiliar



Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras
Asesor Auxiliar



Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirector de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi hermano Jorge, y a mis padres Ronald Jorge y Lilia por su disposición, su constante apoyo para seguir mejorando y por estar presentes en cada momento importante de mi vida. A mi hija Romina Lecea Serna, quien ha sido una pieza clave para seguir adelante con mis estudios profesionales, Dándole un claro ejemplo que, la disciplina vence a la inteligencia.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la UANL por brindarme el apoyo para el uso de sus instalaciones y al personal a cargo de cada uno de los laboratorios por sus asesorías, otorgándome así, la oportunidad de obtener nuevas experiencias en mi carrera profesional.

Al Dr. Alejandro Isabel Luna Maldonado por el apoyo incondicional en mi investigación, sus conocimientos transmitidos, disponibilidad y su tiempo, por sus observaciones, así como sus correcciones y compromiso para la elaboración de este trabajo.

A los doctores Juan Florencio Gómez Leyva, Humberto Rodríguez Fuentes, Juan Antonio Vidales Contreras por sus valiosas aportaciones y a la Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero por su valiosa asesoría, aportación, enseñanza, por formar parte de mi comité, por sus sugerencias y consejos.

Al Ing. Zaid por su valiosa asesoría y enseñanza para llevar a cabo todos los análisis reológicos, y de color y al Dr. Jorge Ramsy Kawas Garza, por su disposición, enseñanza y conocimiento en los análisis químicos de este estudio.

Agradezco también a quienes colaboraron en esta investigación (de forma directa o indirecta), por su aportación para llevar a cabo todo el trabajo de campo, como lo son el Ing. Guillermo Santa Cruz, Ing. José Luis Karlis, Ing. Oscar Guerra y el Ing. Víctor, quienes son parte del equipo de LEYER S.P.R. de R.L. de C.V./ SUNUTS S.A.P.I. de

C.V. así como a mi patrón Lic. David Guillermo Zambrano Villarreal por su entera confianza y apoyo financiero.

A mis profesores de clase, los doctores Gerardo Méndez Zamora, Juan Nápoles Armenta, Celestino García Gómez, Guillermo Cristian G. Martínez Ávila, y Miguel Ángel García Moreno por sus conocimientos transmitidos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DEL APÉNDICE.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVO GENERAL.....	3
3.1. <i>Objetivos específicos</i>	3
4. ANTECEDENTES	4
4.1. Generalidades del nogal.....	4
4.2. Importancia comercial.....	4
4.3. información general de <i>Carya illinoensis</i>	5
4.4. Calidad de <i>C. illinoensis</i>	8
4.5. Tipos de oxidación y antioxidantes.....	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
5.1. Material biológico.....	12
5.2. Diseño experimental.....	13
5.3. Ubicación de los análisis fisicoquímicos	13
5.3.1. Determinación de índice de color	14
5.3.2. Determinación de dureza.....	15
5.3.3. Determinación de humedad.....	5
5.3.4. Determinación de índice de acidez.....	15
5.3.5. Determinación de índice de peróxidos	16
5.3.6. Determinación de aflatoxinas	17
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
6.1. Diferencia de color total (ΔE), Índice de obscurecimiento (IO) e índice de color de piel (ICP)	17
6.2. Dureza.....	22
6.3. Humedad.....	23
6.4. Índice de acidez	26
6.5. Índice de peróxidos	28
6.6. Aflatoxinas.....	30
7. CONCLUSIONES	32
8. BIBLIOGRAFÍA	33
9. APÉNDICE.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y fenólicos en frutos secos y cacahuates	6
2	Composición química del fruto de la nuez pecana por 100g	7
3	Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecana por 100g	7
4	Perfil de ácidos grasos de la nuez pecana	8
5	Composición de ácidos grasos de la nuez pecana	9
6	Diferencia de color de testigo (TO) contra los tratamientos (HER y DUR) en las etapas I, II y III en las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C	18
7	Etapas I, II y III de índice de oscurecimiento (IO) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C	20
8	Etapas I, II y III índice de color de piel (ICP) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C	21
9	Etapas I, II y III de los análisis de dureza en las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	23
10	Etapas I, II y III de los análisis de humedad de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C	25
11	Etapas I, II y III de los análisis de índice de acidez de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	27
12	Etapas I, II y III de los análisis de índice de peróxidos de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	29
13	Etapas I, II y III de los análisis de aflatoxinas de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Acomodo de los tratamientos de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i>	14
2	Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de color (ΔE) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	19
3	Comparación de medias entre las etapas I, II y III del índice de oscurecimiento (IO) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	21
4	Comparación de medias entre las etapas I, II y III del índice de color de piel (ICP) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	22
5	Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de dureza (N) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	24
6	Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de humedad (%) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	26
7	Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de índice de acidez (% AGL oleico) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	28
8	. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de índice de peróxido ($meqO_2/Kg$) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	30
9	Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de aflatoxinas (ppm) de las variedades <i>Western Schley</i> y <i>Wichita</i> almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.	32

ÍNDICE DEL APÉNDICE

APENDICE		Página
A1.	A 1. Equipo analizador de textura TA.XT Plus	39
A2.	Colorímetro marca Chin Spec utilizando los parámetros de L*, a* y b*	40
A3.	Extracción del aceite de nuez con un tornillo de banco, dos placas de acero inoxidable y dos prensas tipo C.	41
A4.	Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Western Schley 3°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Western Schley 3°C T0 (presencia evidente de hongos y levaduras), imagen 3 el tratamiento Western Schley 3°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Western Schely 3°C HER en sus etapas finales respectivamente	42
A5.	Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Western Schley 10°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Western Schley 10°C T0, imagen 3 el tratamiento Western Schley 10°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Western Schely 10°C HER en sus etapas finales respectivamente.	43
A6.	Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Wichita 3°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Wichita 3°C T0, imagen 3 el tratamiento Wichita 3°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Wichita 3°C HER en sus etapas finales respectivamente.	44
A7.	Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Wichita 10°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Wichita 10°C T0, imagen 3 el tratamiento Wichita 10°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Wichita 10°C HER en sus etapas finales respectivamente.	45

LISTA DE ABREVIATURAS

ORAC	Capacidad de absorción de radicales de oxígeno
mmol de TE/g	micromoles de equivalentes de Trolox por gramo
mg de GAE/g	miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo
Nd	no detectado
na,	no disponible
USDA	United State Department Agriculture
mg	Miligramos
g	Gramos
kcal	Kilocalorías
LDL	Lipoproteína de baja densidad
HDL	Lipoproteína de alta densidad
UI	Unidad internacional
µg	Microgramos
pz	Piezas
lb	libra
°C	Grados Celsius
%	Por ciento
rpm	Revoluciones por minuto
L*	Luminosidad
a*	Coordenadas rojo/verde
b*	Coordenadas amarillo/azul
ΔE	Diferencia de color
IO	Índice de oscurecimiento
ICP	Índice de color de piel
mm	Milímetros
mms⁻¹	Milímetros sobre segundo
mL	Mililitros
meq/mL	Miliequivalentes por mililitro
cm³	Centímetros cúbicos
M	Molar
s	Segundos
H₂O	Agua
Na₂ S₂O₃	tiosulfato de sodio
I₂	Iodo
CHCl₃	Cloroformo
%AGL	Porcentaje de ácidos grasos libres
N	Newtons
meqO₂/Kg	Miliequivalentes de oxígeno por kilogramo
ppm	Partes por millón

RESUMEN

Puesto que la nuez pecana (*Carya illinoensis*) tiene un papel muy importante en la nutrición humana, especialmente como fuente de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y compuestos minerales considerados de alto beneficio para la salud, el objetivo de este estudio fue evaluar un método que permita incrementar el tiempo de conservación y mantener los parámetros de calidad comercial (humedad de la nuez, color, textura, índice de peróxidos, índice de acidez, aflatoxinas y evaluación sensorial) de nuez en variedades *Western Schley* y *Wichita*. El periodo de evaluación fue 12 meses a diferentes temperaturas (3°C y 10°C). Los resultados mostraron diferencia significativa en todos los parámetros, siendo la variedad *Western Schley* la que mostró mayor estabilidad en el color a una temperatura de 3°C en las características fisicoquímicas con la aplicación de los antioxidantes HER y DUR.

También se encontró que los tratamientos de antioxidantes aplicados a la variedad *Wichita* con temperaturas de conservación a 3°C y 10°C tuvieron un mayor pardeamiento a lo largo de esos 12 meses, pero, no con esos tratamientos se obtuvieron resultados altos en índice de peróxido ni de aflatoxinas, los cuales son indicadores fundamentales en la calidad de este alimento. Por lo anterior, los tratamientos con HER y DUR aplicados en la variedad *Wichita* tanto a 3°C como a 10°C fueron los más aptos para conservar por más tiempo la calidad de la nuez pecana.

SUMMARY

Since pecan nut (*Carya illinoensis*) has a very important role in human nutrition, especially as a source of phenolic compounds, antioxidant activity and mineral compounds considered to be highly beneficial for health, the aim of this research was to evaluate a method that allows to increase the conservation time and maintain the commercial quality parameters (nut moisture, color, texture, peroxide index, acidity index, aflatoxins and sensory evaluation) of walnut in varieties *Western Schley* and *Wichita*. The evaluation period was 12 months at different temperatures (3°C and 10°C). The results showed a significant difference in all the parameters, being the *Western Schley* variety the one that showed greater stability in the color at a temperature of 3°C in the physicochemical characteristics with the application of the antioxidants HER and DUR.

It was also found that the antioxidant treatments applied to the *Wichita* variety with storage temperatures at 3°C and 10°C had greater browning throughout those 12 months, but not with these treatments high results were obtained in index of browning, peroxide or aflatoxins, which are fundamental indicators of the quality of this food. Therefore, the treatments with HER and DUR applied to the *Wichita* variety at both 3°C and 10°C were the most suitable to preserve the quality of the pecan nut for longer.

1. INTRODUCCIÓN

Los nogales o pecanos, que producen los frutos secos conocidos como nueces son originarios de América del Norte (Janick, *et al.*, 2008). En 2019, México produjo 159,535 ton de nuez (SIAP, 2019), de las cuales se exporta el 50% de la producción anual, valor que puede incrementarse debido a la creciente demanda mundial (Ojeda-Barrios *et al.*, 2009).

Los frutos secos contienen altos niveles de antioxidantes que son fuente de fibra dietética, grasas insaturadas, vitaminas y minerales esenciales para el humano como potasio y calcio (Shahidi *et al.*, 2000). También aportan proteínas y carbohidratos (Miraliakbari *et al.* 2008). Así mismo se le considera alimentos funcionales naturales por de sus efectos benéficos para la salud, sobre todo en enfermedades crónicas no transmisibles (Gómez *et al.*, 2008).

La cosecha de la nuez pecana es estacional, principalmente cosechada entre septiembre, octubre y noviembre. Por esta razón es necesario almacenar gran parte de la producción para poder mantener el suministro durante todo el año; manteniendo la calidad del producto durante todo el almacenamiento (Ma *et al.*, 2013).

Por lo general la nuez pecana se consume en una condición cruda, tostada o salada, además de ser utilizadas como ingredientes en gran variedad de alimentos procesados, especialmente en pastas para untar, panadería y productos de confitería. El uso del aceite de los frutos secos también se emplea para cocinar, como aderezo para ensaladas y saborizantes (Alasalvar *et al.*, 2006). Los aceites también son utilizados como componentes de algunos humectantes para la piel y productos cosméticos (Madhaven, 2001). La nuez presenta una composición predominantemente lipídica que oscila entre 50 – 70% de aceite en el que prevalecen triacilglicéridos con predominio de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Salvador *et al.*, 2016). Cabe señalar que lo anterior corresponde a un 67 % de ácidos

grasos monoinsaturados (oleico) y un 25% de ácidos grasos poliinsaturados (Venkatachalam *et al.*, 2006).

Durante la cosecha o en el proceso de selección la falta de control puede causar presencia de plagas o enfermedades y cascara quebrada lo cual es no deseable (Mc Granahan, 1991), además se puede presentar la polilla negra (*Ectomyeloisceratoniae zeller*), hongos como *Penicillium sp*, *Aspergillus sp*, *Alternaria sp* y *Rhizopus sp* que disminuyen la calidad del producto (Ramos, 1985).

La temperatura ambiental mayor de 25°C es un factor que incrementa la oxidación de lípidos de las nueces (Raisi *et al.*, 2015) esto aumenta la pérdida de calidad en la nuez pecana (Ma *et al.*, 2013). También ocurre una disminución o atenuación de los valores nutricionales (Guillén *et al.*, 2002), lo cual se manifiesta en un oscurecimiento de la almendra (Senter *et al.*, 1984), Lo anterior estimula la formación de hidroperóxidos y componentes volátiles relacionados con el mal sabor o puede ser reflejado en una nota a sabor rancio al realizar una evaluación sensorial. (Ivanova Petropulos *et al.*, 2015).

La descomposición de los lípidos de las nueces por oxidación tiene gran importancia desde el punto de vista de aceptabilidad del consumidor. La medición de aflatoxinas e índice de peróxidos son considerados como factores principales en la calidad de este producto, principalmente este último que es un método ampliamente utilizado (Masson *et al.*, 1985).

Por lo que se analizó el efecto de dos antioxidantes comerciales HERBALOX BRAND XT-25 oleorresina de romero (HER) y DURALOX Tocoferol 10% (DUR) en la vida de anaquel de la nuez a más 12 meses en temperaturas de 3°C y 10°C, buscando inhibir la reacción enzimática y evaluando los cambios fisicoquímicos del aceite extraído.

2. HIPOTESIS

Las almendras de nuez pecana (*Western Schley* y *Wichita*) tratadas a diferentes ambientes de conservación y con diferentes antioxidantes permiten extender su vida de anaquel.

3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los cambios en la calidad de las nueces a través de la determinación de características fisicoquímicas del aceite extraído en diferentes condiciones de temperatura

Evaluar el efecto de la temperatura y adición de antioxidantes en los parámetros fisicoquímicos y vida de anaquel en dos variedades de nuez pecanera.

3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el deterioro del color de las nueces pecanas en las variedades *Western Schley* y *Wichita*.
- Cuantificar el incremento de los índices de acidez y los índices de peróxidos en las nueces pecanas en las variedades *Western Schley* y *Wichita*.
- Estimar la presencia de aflatoxinas en las variedades *Western Schley* y *Wichita*

4. ANTECEDENTES

4.1. Generalidades del nogal.

El nogal pecanero es una especie hortofrutícola que tiene alta rentabilidad por lo que anualmente se incrementa la superficie dedicada a este frutal (Orona et al., 2006). Este árbol puede superar los 30 m de altura, además comienza su producción de los 6 a los 10 años después de su plantado y puede continuar hasta más de 50 años (Retes et al., 2014). En el norte de México se concentra el 92% de la producción nacional (SAGARPA-SIAP, 2009). Los estados que hacen posible este porcentaje son Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León y Durango (Núñez et al., 2001). El aumento de la producción de nuez pecanero o pecano posicionó a México como uno de los principales exportadores del mercado internacional, el cual generó en el año 2015 un superávit comercial nacional mayor a los \$330 millones de dólares (SIAP, 2016). Su uso principal es para la producción de nuez pecana que es usada como elaboración de dulces y repostería. Además de su uso en la industria alimentaria, ya sea como suplementos alimenticios y productos nutraceuticos, así como en la elaboración de cosméticos o incluso farmacéuticos (Reyes et al., 2016).

4.2. Importancia comercial.

La nuez tiene una gran demanda en el mercado internacional, principalmente en el mercado asiático, el cual ha impulsado el crecimiento en México, triplicando hasta 112,000 Ha en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León. Esto es de gran importancia ya que permite posicionarse como un producto agrícola importante en la generación de divisas, con una derrama económica de 330 millones de dólares en el 2015, principalmente por exportaciones de USA (CONACYT).

Dentro de los compradores de nueces mexicanas se encuentra USA y China. El 60% de la producción de Chihuahua se exporta al mercado de la Unión Americana y China

compro en 2008, ocho mil toneladas de la cosecha mexicana (MEXICO. SAGARPA,s.f.).

Al tomar el parámetro del valor de las exportaciones de USA, el orden a los principales destinos de las nueces con cascara son Hong Kong (49%), México (30%), Vietnam (10%) y China (5%). Por otro lado las nueces sin cascara se destinarían principalmente a Canadá (33%), Países Bajos (20%), Reino Unido (9%), Israel (7%) y Francia (6%) (Doreste, 2011).

4.3 Información general de *Carya Illinoensis*

Por lo general el producto de nuez pecana se consumen crudas, tostadas, saladas, además de ser utilizadas como ingredientes en gran variedad de alimentos procesados, especialmente en pastas para untar, panadería y productos de confitería. El uso del aceite de los frutos secos también se utiliza para cocinar, aderezos para ensaladas y saborizantes (Alasalvar *et al.*, 2006). Además, los aceites también son utilizados en componentes de algunos humectantes para la piel y productos cosméticos (Madhaven, 2001).

Los frutos secos son nutritivos y proporcionan macronutrientes como las grasas, proteínas y carbohidratos, micronutrientes como minerales, vitaminas (Miraliakbari *et al.*, 2008) bioactivos liposolubles como ácidos grasos monosaturados, ácidos grasos poliinsaturados, monoacilgliceroles, diacilgliceroles, triacilgliceroles, fosfoesteroles, fitostanoles, escualeno, terpenoides, esfingolípidos, aceites esenciales y fitoquímicos como ácidos fenólicos, flavonoides (flavonas, flavanoles o catequina, flavanonas, antocianidinas, isoflavanoides, estilbenos, lignanos, taninos hidrolizables, taninos condensados o proantocianidinas, carotenoides, alcaloides, fitatos y fitoestrógenos, entre otros) (Wu *et al.*, 2004) Ver cuadro 1.

Las nueces pecanas contienen una fuente importante de lípidos, proteínas e hidratos de carbono y aportan 691 kcal por cada 100 g de producto, debido a que contiene poca agua en comparación con otros frutos, vegetales y carne (60% y 90%) de agua. Ver cuadro 2. (Vigo, 2014).

Cuadro 1. Composición de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) y fenólicos en frutos secos y cacahuates.

Nueces de árbol y Maní	ORAC total (mmol de TE/g) a	Total fenólicos (mg de GAE/g) b	Total Flavonoides (mg/100 g) [dieciséis]	Proantocianidinas totales (mg/100 g)	Total Isoflavonas (mg/100 g)	Lignanos totales (mg/100 g)	Total fitoestrógenos (mg/100 g)
Almendras	44.45	4.18	15.24	184.0	18.0	111.7	131.1
Nuez de Brasil	14.19	3.10	Nd	Nd	Na	Na	Na
Nuez de la India	19.97	2.74	1.98	8.7	22.1	99.4	121.9
Castaña	nd	Na	0.02	0.05	21.2	186.6	210.2
Avellana	96.45	8.35	11.96	500.7	30.2	77.1	107.5
Nuez corazón	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
Macadamia	16.95	1.56	Nd	Nd	Na	Na	Na
Nuez pecana	179.40	20.16	34.01	494.1	3.5	25.0	28.8
Piñón	7.19	0.68	0.49	Nd	Na	Na	Na
Pistache	79.83	16.57	14.37	237.3	176.9	198.9	382.5
Nuez	135.41	15.56	2.71	67.3	53.3	85.7	139.5
Cacahuete	31.66	3.96	0.66	15.62	7.3	27.1	34.5

Nota: Los datos se expresan como media de la porción comestible. Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), expresada como micromoles de equivalentes de Trolox por gramo (mmol de TE/g). Fenólicos totales, expresados en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo (mg de GAE/g).nd, no detectado.na, no disponible. (Fuente: Alasalvar, 2008).

Cuadro 2. Composición química del fruto de la nuez pecana por 100g.

Componente	Cantidad cruda
Agua	3.52 g
Energía	691 kcal
Grasa	71.97 g
Proteína	9.17 g
Hidratos de carbono	13.86 g

Fuente: United States Department of Agriculture, 2013.

Cuadro 3. Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecana por 100g.

Componente	Valor por cada 100g
Potasio	410 mg
Sodio	0 mg
Fósforo	277 mg
Calcio	70 mg
Magnesio	121 mg
Hierro	2.53 mg
Zinc	4.53 mg
Cobre	1.5 mg
Vitamina C	1.1 mg
Vitamina B ₁	0.66 mg
Vitamina B ₂	0.13 mg
Vitamina B ₆	0.21 mg
Vitamina A	56 UI
Vitamina E	1.4 mg
Folacina	22 µg
Niacina	1.167 mg

Fuente: United States Department of Agriculture, 2013.

Las nueces pecanas contienen minerales y vitaminas, (Cuadro 3). Entre los que destacan los folatos, la vitamina A y vitamina E que esta última cumple la función como antioxidante (Serrano, 2006). Los estudios han comprobado que la vitamina E reduce

el riesgo de trastornos cardiovasculares, además de algunos cánceres. Sin embargo, las vitaminas en general desempeñan la misma función (Serrano, 2006).

La cantidad de ácidos grasos de la nuez pecana corresponde a un 67 % de ácidos grasos monoinsaturados (oleico) que en una ingesta recomendada protege nuestro sistema cardiovascular reduciendo los niveles de colesterol LDL en la sangre y pueden mantener el mismo colesterol HDL aumentando la relación HDL/LDL y un 25% de ácidos grasos poliinsaturados (Venkatachalam *et al.*, 2006) Ver cuadro 4. Los poliinsaturados contribuyen con la reducción del colesterol total y los niveles de triglicéridos en la sangre los cuales reducen el riesgo de formación de trombos o coágulos (Serrano, 2006). Además, poseen fibra insoluble, que ejerce protección cardiovascular y fibra soluble que mejora el control de la glicemia, además de ser útil para la prevención y tratamiento de la obesidad (Jenekins *et al.*, 2000)

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos de la nuez pecana.

Compuesto	Cantidad cruda / 100g
Acidos grasos saturados	6.180 g
Acidos grasos monoinsaturados	40.801 g
Acidos grasos poliinsaturados	21.614 g

Fuente: United States Department of Agriculture, 2013.

En el cuadro 5 se pueden observar los diferentes ácidos grasos encontrados en la nuez (Venkatachalam *et. al*, 2006).

4.4. Calidad de *Carya Illinoinesis*

La calidad de la nuez pecana con cascara se pueden determinar por el valor de diversos parámetros considerados que son: limpieza de la nuez, con cascara fina, cierre hermético y peso entre 12 y 18 g. En el fruto o la almendra por, color claro y

llenado uniforme y un peso menor al 50% de su peso total (nuez con cascara). El contenido de humedad es un parámetro importante y este no debe ser superior al 12% en nueces con cascara, mientras que en la almendra es aconsejable el valor que se menor a 8 % (Seta et al., 2004).

Cuadro 5. Composición de ácidos grasos de la nuez pecana por 100 g.

Composición	Porcentaje (%)
14:0 Ácido mirístico	0.04
16:0 Ácido palmítico	5.90
17:0 Ácido margárico	0.05
18:0 Ácido esteárico	2.24
20:0 Ácido araquídico	0.12
16:1 Ácido palmitoleico	0.07
18:1 Ácido oleico	66.66
18:2 Ácido linoleico	23.68
18:3 Ácido linolenico	1.24

Fuente: United States Department of Agriculture, 2013.

Algunos defectos que se pueden presentar son podredumbre, veta oscura, manchado en pulpa y cascara quebradiza, los cuales son inaceptables comercialmente (Mc Granahan, 1991). Otros problemas que pueden afectar la calidad de estos productos son la rancidez y el desarrollo de insectos, en especial por *Ectomyeloisceratoniae zeller* (polilla del nogal) y hongos tales como *Penicillum*, *Aspergillus*, *Alternaria* y *Rhizopus* en el interior de la pulpa (Ramos, 1985). Algunos de estos hongos producen aflatoxinas que son micotoxinas y pueden causar enfermedades muy graves en humanos. El mal tiempo o malas condiciones de almacenamiento hacen las condiciones apropiadas para su proliferación y baje la calidad de la nuez provocando sabores desagradables además de resultar en cáncer de hígado (Trucksess, 1982)

4.5. Tipos de oxidación y antioxidantes

La oxidación lipídica es responsable del precursor de sabores y olores desagradables

que hacen que los alimentos no sean aptos para el consumo, Además de provocar otros cambios que afectarán no solo a la calidad nutricional, debido a la degradación de las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales, sino también a la integridad y seguridad convirtiéndolos potencialmente en alimentos tóxicos (Silva, 1999).

La oxidación enzimática inicia por la acción de enzimas lipoxigenasas que tiene efecto sobre los ácidos grasos poliinsaturados, catalizando la adición de oxígeno a la cadena de hidrocarburos poliinsaturada. Dando como resultado la formación de hidroperóxidos y peróxidos con dobles enlaces que pueden implicar diferentes reacciones que tienden a degradarse. (Halliwell, 1995)

Las reacciones hidrolíticas son catalizadas por enzimas lipasa o por la acción del calor y humedad, con la formación de ácidos grasos libres (Barrera-Arellano, 1998). La autooxidación que es cuando el oxígeno reacciona con los ácidos grasos insaturados y se producen en tres etapas que son: iniciación, propagación y termino (Berger, 1995)

Los antioxidantes inhiben o retrasan la oxidación lipídica de aceites, grasas y alimentos grasos (Rojano, B. A. 1997) Los lípidos consisten en una mezcla de tri, di, y monoacilgliceroles, ácidos grasos, glicolípidos, fosfolípidos, esteroides y otras sustancias, donde mayormente son considerados oxidables en diferentes grados (Berset, C, 1996), los ácidos grasos insaturados son las estructuras más susceptibles al proceso oxidativo En donde el proceso de degradación de estos se forma en un doble enlace en medio de los carbonos 3 y 4 que impedía el proceso de oxidación. En donde la isomerasa y reductasa son necesarias para poder manipular los dobles enlaces colocados en posiciones impares (Cosgrove, 1987).

La oxidación de la nuez pecana se deriva de los radicales libres, estos forman radicales de peróxido que generan protones de las moléculas cercanas para hacer hidroperóxidos estables. En donde la descomposición de los peróxidos es acelerada por el incremento de temperatura y catalizada por los iones metálicos, lo que causa un efecto en la formación de componentes de carboxilos volátiles (Rockland, 1980).

De acuerdo con Balsano (2009) un antioxidante es una molécula capaz de prevenir la oxidación de un sustrato oxidable, en el cual este procede a donar electrones, en donde algunos de los casos revierten el daño oxidativo de las moléculas que sufrieron daños. Los antioxidantes pueden ser divididos en:

- Antioxidantes preventivos como: enzimas, catalasa y peroxidasa
- Antioxidantes secundarios como: Vitamina E y C

Otra manera de prevenir la oxidación es evitando el contacto con la luz, reacciones enzima, sustratos y el oxígeno dado que de esta manera se puede mejorar la conservación de los frutos secos ricos en grasas o al agregar ingredientes como la oleorresina de romero y tocoferol que pueden aportar antioxidantes a los alimentos elaborados. (Ibáñez, 2003).

El tiempo es un factor importante que afecta directamente las características fisicoquímicas de la nuez pecana, ya que, debido a la actividad de peroxidasa, quien es la que provoca el pardeamiento, en lo cual sufre un incremento de la absorbancia provocado por un largo tiempo de almacenamiento, abonado a esto, el pardeamiento en sí, puede ser provocado por distintos factores como la concentración y actividad de poli-fenoloxidasa, la cantidad de oxígeno disponible en el ambiente del tejido, la naturaleza y cantidad de los componentes como la actividad de pH, temperatura, agua y compuestos fenólicos. (Ramírez, 2016).

El tocoferol es uno de los antioxidantes más utilizados como medio de aplicación para inhibir la oxidación de aceites y grasas comestibles, previniendo la oxidación de los ácidos grasos insaturados; Estos están presentes de manera natural en los aceites vegetales, además de su elaboración de manera sintética. Su funcionalidad se debe a la capacidad de donar sus hidrógenos fenólicos a los radicales libres lipídicos cortando la propagación en la cadena de enlaces. (Jorge, 2012). En este estudio se utilizó el antioxidante duralox tocoferol el cual cuenta con un 9 – 11% de tocoferol, con una apariencia líquida café oscuro, con un olor medianamente herbal, con ácido carnostico 3.49% y carnosol del 5.02% Otro antioxidante usado es el romero que es utilizado como fuente de actividad antioxidante, en donde se han aislados compuestos fenólicos como: carnosol rosmarquinona, rosmanol, y rosmaridifenol (Almeida, 2000). En este estudio se utilizó el herbalox brand XT-25 compuesto de oleoresina de romero con una apariencia líquida naranja, con un olor característico a romero, con ácido carnostico del 0.85% y carnosol del 1.28%.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de SUNUTS S.A.P.I. de C.V. en Monterrey, Nuevo León, México con ubicación geográfica 25°42' 55.5" Latitud Norte 100° 21' 26.4" longitud Oeste. Además del Laboratorio de Ingeniería del Campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicado en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México.

5.1. Material Biológico

Se seleccionaron arboles de Nogal de 7 años de las variedades *Western Schley* (WS) y *Wichita* (W) propiedad de la empresa Las Estacas y El Refugio S.P.R. DE R.L. DE C.V. de Ciudad San Juan de Sabinas, Coahuila con ubicación geográfica 27°57'58.8" latitud norte 101°24'00.5".

Se colectaron muestras representativas de dos variedades de nuez. Estas tenían un peso con cascara de 4.075 g (± 0.9) dando 250 piezas por lb, las cuales fueron separadas de su cascara manualmente. Se seleccionaron únicamente las nueces pecanas con buenas características; posteriormente se utilizó un bombo frio con una capacidad de 80 kg, donde se colocaron 60 kg de nuez pecana por variedad y con un aspersor de aceite fueron aplicados los antioxidantes Herbalox Brand XT-25 (50% tocoferol y 50% oleorresina de romero) a una concentración de 0.20 (HER) y Duralox con una composición de 100% tocoferol (DUR) a una concentración de 0.05% y se dejaron mezclar por 10 minutos para su homogenización; posteriormente las almendras fueron colocadas en bolsas de polietileno de alta densidad y después en cajas que fueron almacenadas bajo diferentes temperaturas (3°C y 10°C).

5.2. Diseño Experimental

Se empleó un diseño experimental con antioxidantes con 3 niveles, 2 temperaturas, 2 variedades dando un total de 12 tratamientos experimentales las cuales serán divididas en tres etapas, al mes inicial (etapa I) al sexto mes (etapa II) y al doceavo mes (etapa III). Donde se realizaron los análisis de color, humedad, textura, índice acidez, índice de peróxido y formación de aflatoxinas. El arreglo de los tratamientos se muestra en la figura 1. El diseño experimental 2^3 (Ecuación 1). Las comparaciones de medias se realizarán con el comparativo de Tukey y para análisis de varianza será ANOVA con un nivel de confianza de 0.05 %, el análisis estadístico se realizará con el software Minitab 17.

5.3. Ubicación de los análisis fisicoquímicos

Los análisis de color y textura fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería del Campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Unidad Escobedo.

Los análisis de humedad, índice peróxidos, índice de acidez y aflatoxinas fueron realizados en Laboratorio de Aseguramiento de Calidad de la empresa SUNUTS SAPI de CV.

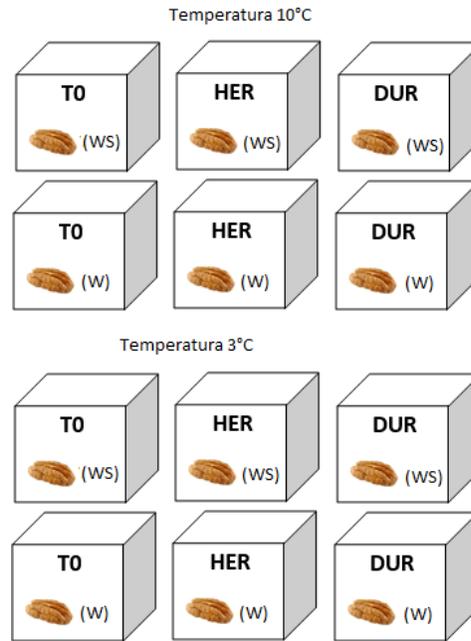


Figura 1. Acomodo de los tratamientos de las variedades *Western Schley* y *Wichita*.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + H_j + D_k + (TH)_{ij} + (TD)_{ik} + (HD)_{jk} + (THD)_{ijk} + E_{ijk} \quad (1)$$

5.3.1. Determinación de índice de color

Para la evaluar de índice de color se utilizó un colorímetro marca chin spec utilizando los parámetros de L^* , a^* y b^* . Estos valores se estimaron con la variable “x” Ecuación 2 y se calculó el índice de oscurecimiento (IO) Ecuación 3. Además, se calculó la diferencia de color total (ΔE) Ecuación 4 (Caivano *et al.*, 1995); también se determinó el índice de color de piel (ICP) Ecuación 5 (Buera *et al.*, 1986). Se utilizó una muestra de cada unidad (1 nuez), se emplearon 10 repeticiones,

$$x = \frac{a + 1.75L}{5.645L + a - 3.012b} \quad (2)$$

$$IO = \frac{100(x*0.31)}{0.172} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (4)$$

$$ICP = \frac{(1000)(a^*)}{(b^*)(L^*)} \quad (5)$$

5.3.2. Determinación de dureza

Se utilizó el equipo analizador de textura TA.XT Plus. A cada tratamiento se le determino el perfil de textura, donde utilizó una muestra de nuez pecana con 10 repeticiones. La fuerza de punción de fue de 15 g para un grosor promedio de nuez pecana de 8.5 mm \pm 0.5, usando un punch circular de 1.17 mm con una cara plana, cortando la nuez pecana por la mitad, a una velocidad de cruce de 3 mms⁻¹. Utilizando el accesorio cuchilla Warner Bratzler. Al final de la prueba se descargarán los datos con ayuda del software del equipo, identificando el valor de dureza con unidades N (Newton).

5.3.3. Determinación de humedad

La determinación del porcentaje de humedad de la nuez se realizó con un analizador de humedad de la marca Ohaus modelo MB23, en el cual se colocó una muestra previamente molida con un mortero hasta quedar un polvo granulado, se colocó una muestra molida de un peso de 10 g con 10 repeticiones. (NMX-FF-093-SCFI-2011)

5.3.4. Determinación de índice de acidez

Para la determinación de acidez se extrajo el aceite de nuez con un tornillo de banco, dos placas de acero inoxidable y dos prensas tipo C, El aceite extraído fue

colocado en un contenedor de plástico posteriormente la cantidad de muestra empleada para evaluar fue lo siguiente: porcentaje de ácidos grasos libres: 0.01 a 0.2. Muestra en gramos de aceite de nuez: 56.4 ± 0.2 g. Mililitros de alcohol: 50 mL. Normalidad de la solución: 0.1 meq/mL. A la muestra determinada en gramos, contenida en un matraz Erlenmeyer de 300 cm^3 , se le agregaron los centímetros cúbicos de alcohol etílico requeridos; se calentó suavemente el matraz en baño de vapor a reflujo hasta disolución completa, y después se agregó 1 cm^3 de fenolftaleína; se procedió a titular la mezcla con la solución de hidróxido de sodio 0.1 M, donde se agito frecuentemente hasta que una coloración rosada persista durante 30 s. El porcentaje de ácidos grasos libres fue calculado como ácido oleico Ecuación 6. Se utilizó una muestra de 2.5 Kg de nuez donde se extrajo 1.4 mL de aceite de nuez, con 10 repeticiones (NMX-F-101-SCFI-2012).

$$\% = \frac{V*N*28.2}{pm} \quad (6)$$

5.3.5. Determinación de índice de peróxidos

Para la determinación de peróxidos se pesaron 5 g de muestra de nuez pecana en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con tapón de vidrio. Se agregaron 30 mL de la solución de cloroformo de ácido acético y se agitaron para su disolución, posteriormente se agregaron 0.5 mL de solución de yoduro de potasio, con una pipeta de Mohr saturada, luego se dejaron reposar con agitación ocasional durante 1 minuto y se agregaron 30 mL de H_2O . Se valoro lentamente con (tiosulfato de sodio) $\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M con agitación vigorosa hasta que el color amarillo casi desaparezca. Se agregaron 0.5 mL de solución de almidón al 1% y continuamos la titulación, agitando vigorosamente para liberar todo el I_2 (Iodo) de la capa de CHCl_3 (Cloroformo), hasta que el azul simplemente desaparezca. Se utilizaron <0.5 mL de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 M, se repitió la determinación con $\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_3$ 0.1 M. Se realizó la determinación del blanco diariamente (debiendo ser tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ <0.1M) y se restó de la titulación de la porción de prueba. El valor

o índice de peróxido fue calculado en meqO₂/kg con 10 repeticiones (Ecuación 7). (NMX-F-154-SCFI-2010)

$$IP = \frac{(M - T) * N * 1000}{\text{Peso de muestra en gramos}} \quad (7)$$

5.3.6. Determinación de aflatoxinas

Se utilizaron 50 g de nuez pecana molida en conjunto con el metanol al 80%, después pasa el extracto filtrado (con papel filtro aflautado Whatman No. 1) y diluido con agua, se filtrado nuevamente (con papel filtro aflautado Whatman No. 1) y se pasó a través de una columna de inmunoafinidad la cual contiene un anticuerpo monoclonal específico para aflatoxinas (esto permite una limpieza eficiente de micotoxinas). En este estado la aflatoxina se ligará al anticuerpo de la columna. La columna fue lavada con agua para eliminar impurezas. Posteriormente, después de pasar metanol a través de la columna, las aflatoxinas serán removidas del anticuerpo, esta solución fue medida en un fluorómetro previa derivatización con solución diluida de bromo. Las aflatoxinas fueron cuantificadas en forma total expresadas en ppm. Se realizaron 10 repeticiones de este procedimiento (NOM-188-SSA1-2002).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Diferencia de color total (ΔE), Índice de obscurecimiento (IO) e índice de color de piel (ICP).

Se llevó a cabo la determinación del análisis estadístico de la etapa I no mostraron una diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamientos respecto a la diferencia de color total (ΔE).

En la etapa II los resultados mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos por parte de la diferencia de color (ΔE) donde las más afectadas al

cambio fueron las variedades *Wichita* cuando se compararon con los tratamientos T0 contra HER y DUR, esto es debido a que esta variedad de un inicio mostro mayor diferencia de color marrón comparando con la variedad *Western Schley* que tubo menor diferencia de color.

En la etapa III los resultados mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos por parte de la diferencia de color (ΔE), donde los tratamientos que fueron expuestos a 10 °C mostraron poca diferencia al momento de ser comparados con T0 contra HER y DUR. Esto debido a que el uso de antioxidantes ayudo a que se retardara el desarrollo metabólico en las nueces pecanas. Por lo contrario, los tratamientos expuestos a 3°C mostraron mayor diferencia con T0 contra HER y DUR, debido a que T0 no fue sometido a ningún antioxidante y su proceso de maduración avanzo. Esto puede observarse en el cuadro 6 y la figura 2

Cuadro 6. Diferencia de color de testigo (T0) contra los tratamientos (HER y DUR) en las etapas I, II y III en las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/Antioxidante contra T0	Medias Diferencia de color (ΔE)		
	I	II	III
3°C W (T0 Vs DUR)	4.41 ± 0.945 ^a	4.74 ± 0.937 ^b	9.99 ± 0.174 ^b
3°C W (T0 Vs HER)	3.79 ± 0.945 ^a	6.37 ± 0.937 ^{ab}	8.95 ± 0.174 ^c
3°C WI (T0 Vs DUR)	5.38 ± 0.945 ^a	6.37 ± 0.937 ^{ab}	11.12 ± 0.174 ^a
3°C WI (T0 Vs HER)	6.10 ± 0.945 ^a	9.27 ± 0.937 ^a	10.91 ± 0.174 ^a
10°C W (T0 Vs DUR)	4.64 ± 0.945 ^a	4.87 ± 0.937 ^b	7.95 ± 0.174 ^d
10°C W (T0 Vs HER)	4.93 ± 0.945 ^a	5.68 ± 0.937 ^b	6.39 ± 0.174 ^e
10°C WI (T0 Vs DUR)	3.39 ± 0.945 ^a	6.81 ± 0.937 ^{ab}	7.85 ± 0.174 ^d
10°C WI (T0 Vs HER)	2.96 ± 0.945 ^a	7.11 ± 0.937 ^{ab}	7.2 ± 0.174 ^d

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

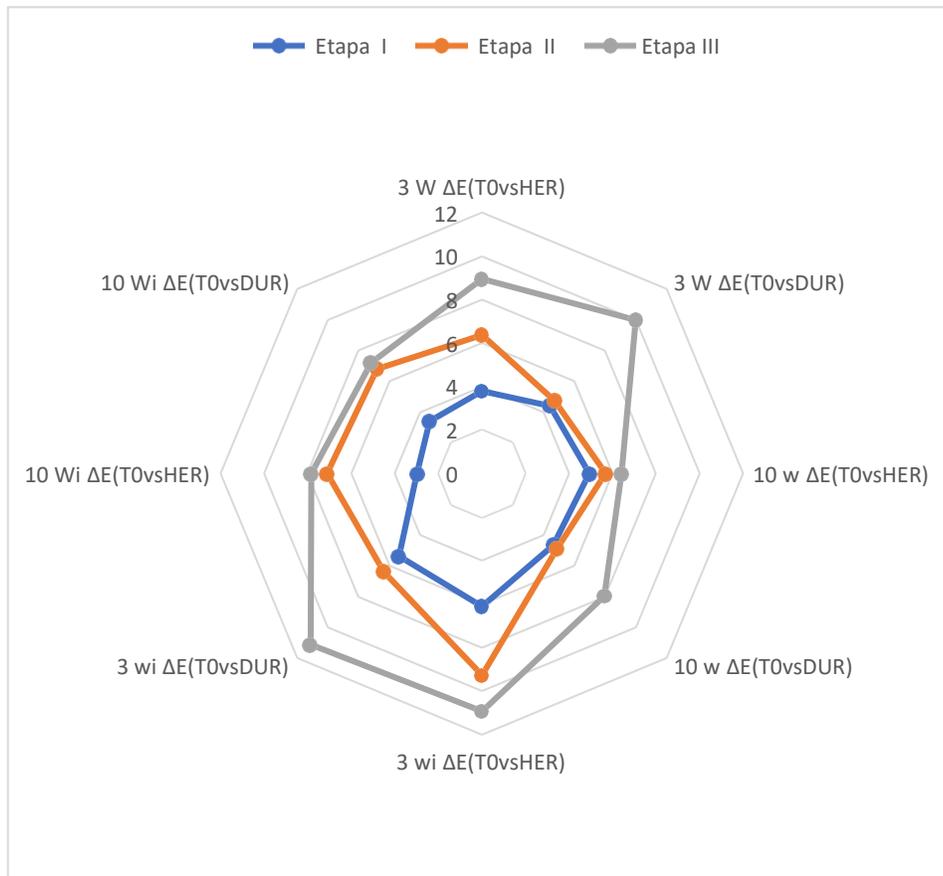


Figura 2. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de color (ΔE) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

La etapa I mostro que el índice de oscurecimiento (IO) (cuadro 7) y el índice de color de piel (IPC) (cuadro 8) mostraron una diferencia significativa entre tratamientos. Esto refleja que el color marrón de la corteza de la nuez sufrió ligeras modificaciones al momento de agregar los antioxidantes.

En la etapa II los resultados de IO y ICP mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, las variedades de *Wichita* con los tratamientos HER y DUR mostraron un incremento en el IO, caso contrario en las variedades *Western Schley* mantuvieron su IO inicial en algunos tratamientos HER y DUR. Se ha demostrado que los extractos de romero y té verde tienen actividad antioxidante en los lípidos y en los

alimentos que los contienen (Shahidi 2000). Los tratamientos que mostraron un menor incremento en el índice de color de piel (ICP) fueron: HER para la variedad Western Schley refrigerada a 3°C y DUR para la variedad Western Schley refrigerada a 3°C. Cabe mencionar que el tratamiento HER contiene oleorresina de romero, mientras que el tratamiento DUR es a base de tocoferol.

Los resultados de índice de oscurecimiento (IO) e índice de color de piel (ICP) mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la etapa III entre tratamientos. Donde nuevamente las variedades las variedades *Western Schley* tuvieron un ligero aumento en el índice de oscurecimiento (IO) como lo muestra la figura 3 e índice de color de piel (ICP) tanto en tratamientos a 3°C y 10°C siendo esta variedad la más resistente que la variedad *Wichita*. como se muestra en la figura 4.

Cuadro 7. Etapa I, II y III de índice de oscurecimiento (IO) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	Índice de oscurecimiento (IO)		
	I	II	III
3°C Western S. T0	88.98 ± 1.11 ^a	90.95 ± 0.97 ^{bc}	91.79 ± 0.21 ^f
3°C Western S. HER	90.19 ± 1.11 ^a	91.28 ± 0.97 ^{bc}	91.33 ± 0.21 ^f
3°C Western S. DUR	91.76 ± 1.11 ^a	92.57 ± 0.97 ^{bc}	93.43 ± 0.21 ^e
3°C Wichita T0	89.11 ± 1.11 ^a	91.63 ± 0.97 ^{bc}	99.48 ± 0.21 ^a
3°C Wichita HER	88.37 ± 1.11 ^a	92.93 ± 0.97 ^{bc}	97.96 ± 0.21 ^b
3°C Wichita DUR	90.61 ± 1.11 ^a	94.51 ± 0.97 ^{ab}	97.77 ± 0.21 ^b
10°C Western S. T0	88.26 ± 1.11 ^a	92.00 ± 0.97 ^{bc}	92.42 ± 0.21 ^d
10°C Western S. HER	91.96 ± 1.11 ^a	91.89 ± 0.97 ^{bc}	91.95 ± 0.21 ^f
10°C Western S. DUR	90.18 ± 1.11 ^a	90.36 ± 0.97 ^{bc}	91.81 ± 0.21 ^f
10°C Wichita T0	89.39 ± 1.11 ^a	89.45 ± 0.97 ^c	96.74 ± 0.21 ^c
10°C Wichita HER	94.24 ± 1.11 ^a	95.67 ± 0.97 ^a	96.13 ± 0.21 ^c
10°C Wichita DUR	90.32 ± 1.11 ^a	93.62 ± 0.97 ^{abc}	95.22 ± 0.21 ^{cd}

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$)

Cuadro 8. Etapas I, II y III índice de color de piel (ICP) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	Índice de color de piel (ICP)		
	I	II	III
3°C Western S. T0	15.79 ± 0.90 ^{ab}	17.70 ± 0.93 ^{ab}	25.31 ± 0.35 ^c
3°C Western S. HER	17.40 ± 0.90 ^{ab}	17.73 ± 0.93 ^{ab}	18.22 ± 0.35 ^{fg}
3°C Western S. DUR	18.28 ± 0.90 ^a	18.47 ± 0.93 ^{ab}	20.01 ± 0.35 ^f
3°C Wichita T0	14.78 ± 0.90 ^{ab}	18.68 ± 0.93 ^{ab}	24.32 ± 0.35 ^{cd}
3°C Wichita HER	15.05 ± 0.90 ^{ab}	15.76 ± 0.93 ^b	22.12 ± 0.35 ^e
3°C Wichita DUR	14.28 ± 0.90 ^{ab}	19.32 ± 0.93 ^{ab}	19.59 ± 0.35 ^f
10°C Western S. T0	14.26 ± 0.90 ^{ab}	18.91 ± 0.93 ^{ab}	22.77 ± 0.35 ^{de}
10°C Western S. HER	17.05 ± 0.90 ^{ab}	21.83 ± 0.93 ^a	22.22 ± 0.35 ^e
10°C Western S. DUR	14.25 ± 0.90 ^{ab}	19.40 ± 0.93 ^{ab}	21.55 ± 0.35 ^{ef}
10°C Wichita T0	13.17 ± 0.90 ^b	15.57 ± 0.93 ^b	31.02 ± 0.35 ^b
10°C Wichita HER	18.15 ± 0.90 ^a	21.68 ± 0.93 ^a	24.78 ± 0.35 ^c
10°C Wichita DUR	15.57 ± 0.90 ^{ab}	20.75 ± 0.93 ^a	34.27 ± 0.35 ^a

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$)

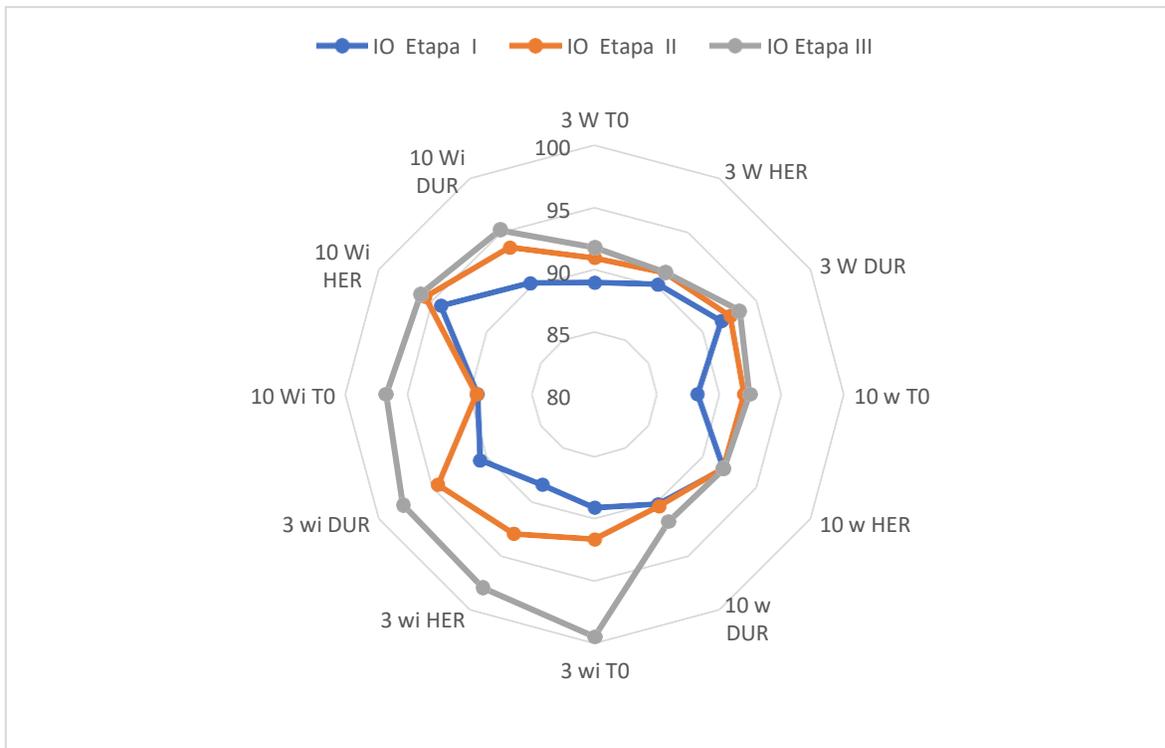


Figura 3. Comparación de medias entre las etapas I, II y III del índice de oscurecimiento (IO) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

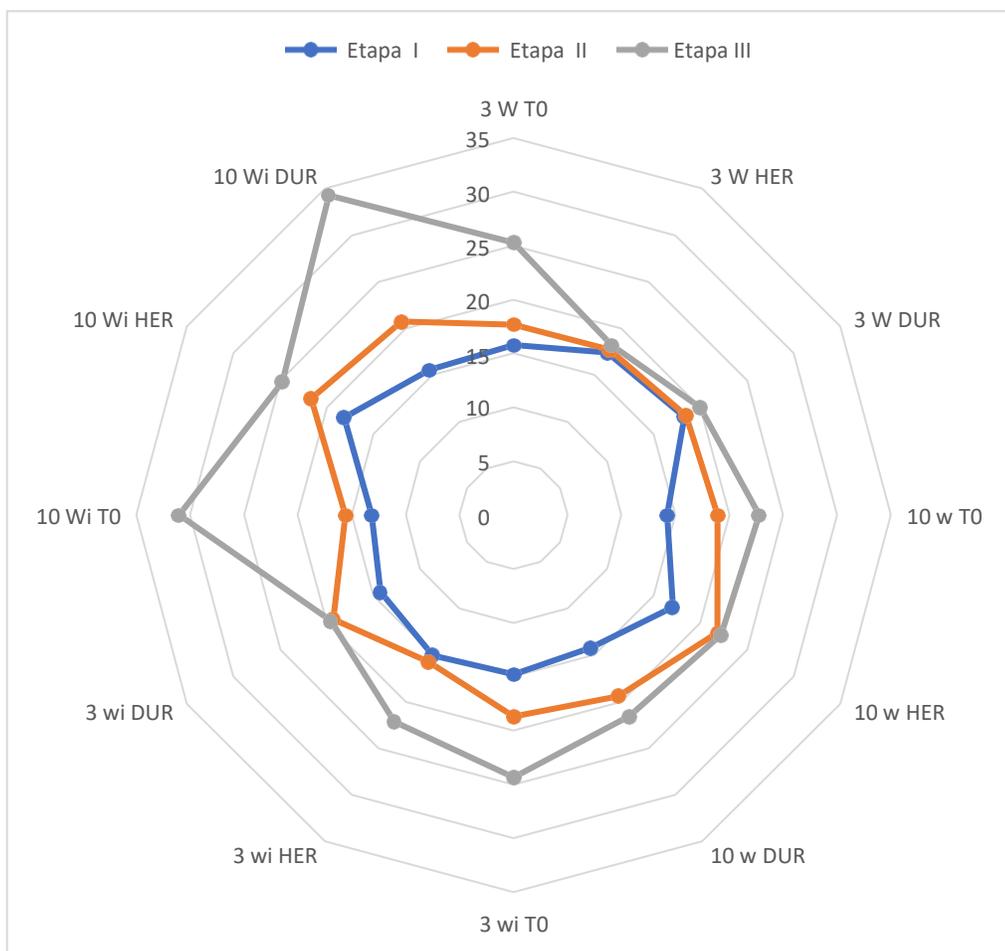


Figura 4. Comparación de medias entre las etapas I, II y III del índice de color de piel (ICP) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

6.2. Dureza

Los resultados de dureza mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos en la etapa I, donde la mayoría de los tratamientos que contienen las variedades *Western Schley* mostraron mayor dureza debido a su menor porcentaje de grasa monoinsaturada (26.80%) en comparación con *Wichita* (29.03%) (Rivera-Rangel, 2018).

En la etapa II no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$), lo cual indicó que al conservar las nueces en un ambiente controlado puede ayudar a mantener sus características

tanto a 3°C como a 10°C y los antioxidantes no modificaron las características de las nueces pecanas.

En la etapa III no hubo diferencia significativa ($p \geq 0.05$), lo cual indicó que al conservar las nueces en un ambiente controlado puede ayudar a mantener sus características tanto a 3°C como a 10°C. En el cuadro 9 se muestran los resultados de este atributo, además en la figura 5 muestra las medias de las etapas I, II y III.

Cuadro 9. Etapa I, II y III de los análisis de dureza en las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	Dureza (N)		
	I	II	III
3°C Western S. T0	26.39 ± 3.57 ^{abc}	28.06 ± 3.39 ^a	37.47 ± 3.59 ^a
3°C Western S. HER	40.25 ± 3.57 ^a	27.81 ± 3.39 ^a	34.09 ± 3.59 ^a
3°C Western S. DUR	34.62 ± 3.57 ^{abc}	36.54 ± 3.39 ^a	36.80 ± 3.59 ^a
3°C Wichita T0	28.03 ± 3.57 ^{abc}	27.16 ± 3.39 ^a	29.13 ± 3.59 ^a
3°C Wichita HER	21.81 ± 3.57 ^c	29.59 ± 3.39 ^a	29.60 ± 3.59 ^a
3°C Wichita DUR	28.06 ± 3.57 ^{abc}	24.53 ± 3.39 ^a	24.46 ± 3.59 ^a
10°C Western S. T0	30.05 ± 3.57 ^{abc}	34.12 ± 3.39 ^a	28.23 ± 3.59 ^a
10°C Western S. HER	39.10 ± 3.57 ^{ab}	32.85 ± 3.39 ^a	27.63 ± 3.59 ^a
10°C Western S. DUR	23.92 ± 3.57 ^{abc}	27.21 ± 3.39 ^a	31.39 ± 3.59 ^a
10°C Wichita T0	20.31 ± 3.57 ^c	30.37 ± 3.39 ^a	25.85 ± 3.59 ^a
10°C Wichita HER	31.57 ± 3.57 ^{abc}	30.76 ± 3.39 ^a	29.62 ± 3.59 ^a
10°C Wichita DUR	23.28 ± 3.57 ^{bc}	22.38 ± 3.39 ^a	35.42 ± 3.59 ^a

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

6.3. Humedad

Los resultados de la etapa I mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de humedad de las variedades *Western Schley* y *Wichita* al momento de hacer la comparación por tratamiento, donde podemos observar en el Cuadro 10, este método de aspersión en sus diferentes concentraciones de los antioxidantes modifica el contenido de humedad de las nueces pecanas. Esto no hace que corran riesgo de

crecimiento microbiano ya que la humedad promedio se mantiene menor a 4 % de humedad (NMX-FF-093-SCFI-2011).

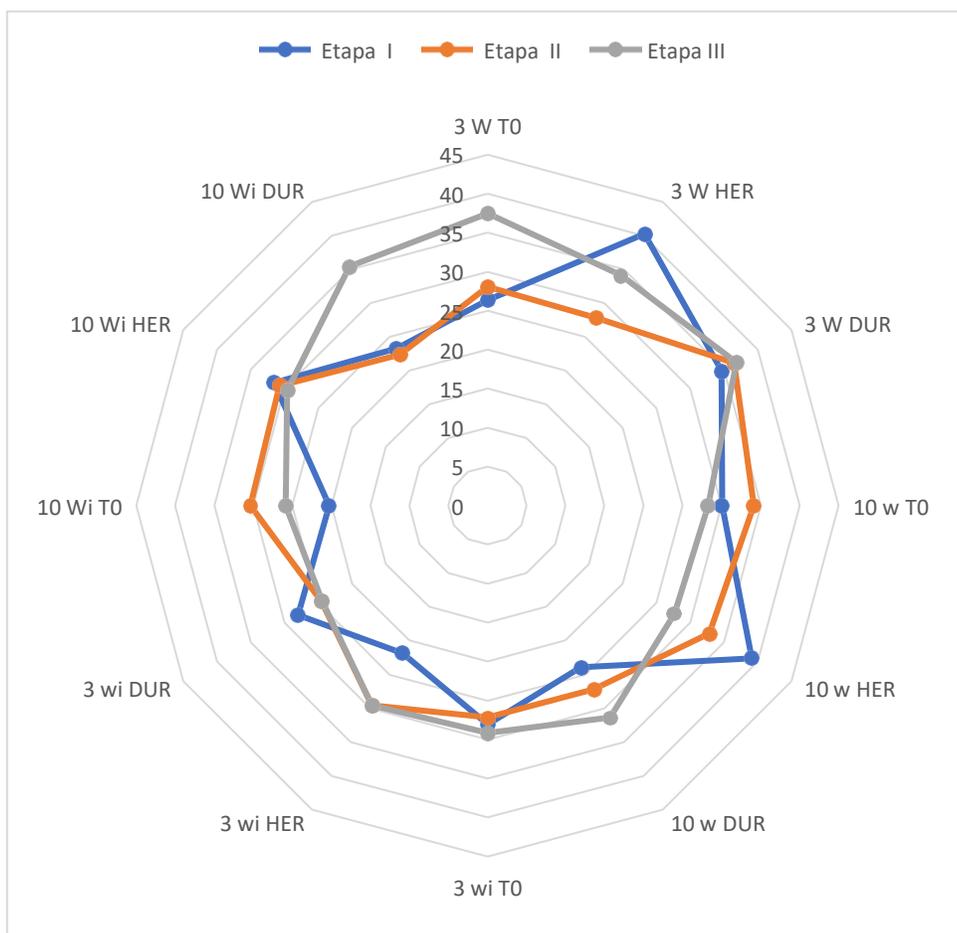


Figura 5. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de dureza (N) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Los resultados de la etapa II mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de humedad de las variedades *Western Schley* y *Wichita* en esta etapa existe un incremento de humedad en algunos tratamientos, esto debido a la humedad relativa en los cuartos de refrigeración.

Los resultados de la etapa III mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el contenido de humedad de las variedades *Western Schley* y *Wichita*. En algunos tratamientos presentan una estabilidad con forme a los valores obtenidos en comparación con el aumento en la etapa II. En la figura 6 se muestra la comparación de humedades de las nueces en las etapas I, II y III; así como, la diferencia que existen entre las medias de estas tres etapas.

Cuadro 10. Etapas I, II y III de los análisis de humedad de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Antioxidante	Variedad/ _ _	Medias _____		
		I	II	III
3°C Western S. T0		3.04 ± 0.052 ^{ab}	3.2 ± 0.01 ^{bc}	3.22ab ± 0.034 ^{ab}
3°C Western S. HER		2.68 ± 0.052 ^{cd}	3.2 ± 0.01 ^{bc}	3.12bcd ± 0.034 ^{bcd}
3°C Western S. DUR		2.81 ± 0.052 ^{bc}	3.17 ± 0.01 ^c	3.05cd ± 0.034 ^{cd}
3°C Wichita T0		3.08 ± 0.052 ^a	3.29 ± 0.01 ^a	3.25ab ± 0.034 ^{ab}
3°C Wichita HER		3.10 ± 0.052 ^a	3.31 ± 0.01 ^a	3.18abc ± 0.034 ^{abc}
3°C Wichita DUR		3.03 ± 0.052 ^{ab}	3.30 ± 0.01 ^a	3.05cd ± 0.034 ^{cd}
10°C Western S. T0		3.11 ± 0.052 ^a	3.18 ± 0.01 ^{bc}	3.32a ± 0.034 ^a
10°C Western S. HER		2.95 ± 0.052 ^{ab}	3.2 ± 0.01 ^{bc}	3.10bcd ± 0.034 ^{bcd}
10°C Western S. DUR		3.16 ± 0.052 ^a	3.1c ± 0.01 ^{bc}	3.17abc ± 0.034 ^{abc}
10°C Wichita T0		2.52 ± 0.052 ^d	3.21 ± 0.01 ^{bc}	2.98d ± 0.034 ^d
10°C Wichita HER		2.04 ± 0.052 ^e	3.22 ± 0.01 ^b	3.14bcd ± 0.034 ^{bcd}
10°C Wichita DUR		2.93 ± 0.052 ^{abc}	3.20 ± 0.01 ^{bc}	3.15bc ± 0.034 ^{bc}

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

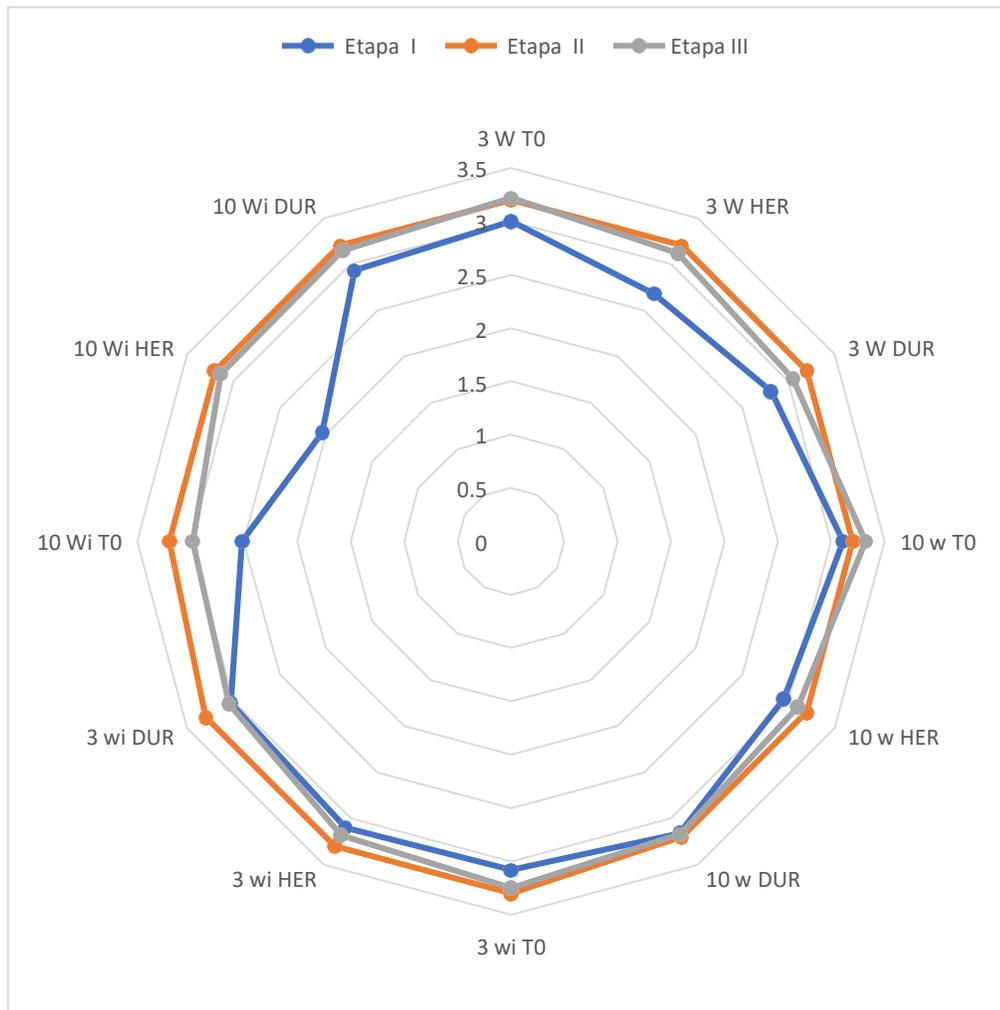


Figura 6. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de humedad (%) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

6.4. Índice de acidez

Los resultados de la etapa I mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en donde el contenido del porcentaje de ácidos grasos libres en los tratamientos almacenados a 10°C, mostraron un mayor porcentaje en las variedades *Western Schley* y *Wichita* siendo el resultado mayor a 0.25 %AGL. Por el contrario, en los tratamientos a 3°C se mantuvieron menores a 0.23 %AGL. Estos resultados muestran que las variedades expuestas a menor temperatura tienden a tener menor enranciamiento por hidrólisis. Como vemos en el Cuadro 11.

En la etapa II los resultados mostraron una diferencia significativa ($p < 0.05$), donde los tratamientos a 3 °C mostraron un aumento en el %AGL debido al aumento de humedad en el cuarto de refrigeración. Esto demuestra que al momento de conservar frutos secos es importante cuidar la temperatura y la humedad.

En la etapa III los resultados mostraron una diferencia significativa ($p < 0.05$), en la cual se observa que todos los tratamientos tuvieron un aumento, donde sobresale el tratamiento a 10°C variedad Wichita con antioxidante duralox (DUR) con una media 0.762 %AGL oleico, esto representa un mayor enranciamiento en comparación con los tratamientos restantes. Los tratamientos que tienen la variedad *Western S.* con el antioxidante HER (Herbalox) tuvieron un menor aumento en el porcentaje de ácidos grasos libres, donde representa un menor enranciamiento en la variedad mencionada. En la Figura 7 podemos ver los cambios que hubo en los tratamientos en la etapa I, II y III.

Cuadro 11. Etapas I, II y III de los análisis de índice de acidez de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	I	II	III
3°C Western S. T0	0.230 ± 0.0024 ^f	0.320 ± 0.00044 ^d	0.411 ± 0.0023 ^f
3°C Western S. HER	0.160 ± 0.0024 ^l	0.213 ± 0.00044 ^k	0.26 ± 0.0023 ^j
3°C Western S. DUR	0.170 ± 0.0024 ^{hi}	0.310 ± 0.00044 ^e	0.45 ± 0.0023 ^e
3°C Wichita T0	0.181 ± 0.0024 ^{gh}	0.330 ± 0.00044 ^c	0.48 ± 0.0023 ^d
3°C Wichita HER	0.230 ± 0.0024 ^f	0.370 ± 0.00044 ^b	0.51 ± 0.0023 ^c
3°C Wichita DUR	0.190 ± 0.0024 ^g	0.250 ± 0.00044 ^h	0.311 ± 0.0023 ^h
10°C Western S. T0	0.390 ± 0.0024 ^a	0.230 ± 0.00044 ^j	0.551 ± 0.0023 ^b
10°C Western S. HER	0.270 ± 0.0024 ^d	0.280 ± 0.00044 ^f	0.29 ± 0.0023 ⁱ
10°C Western S. DUR	0.250 ± 0.0024 ^e	0.200 ± 0.00044 ^l	0.301 ± 0.0023 ^{hi}
10°C Wichita T0	0.310 ± 0.0024 ^b	0.240 ± 0.00044 ⁱ	0.38 ± 0.0023 ^g
10°C Wichita HER	0.290 ± 0.0024 ^c	0.270 ± 0.00044 ^g	0.312 ± 0.0023 ^h
10°C Wichita DUR	0.260 ± 0.0024 ^{de}	0.510 ± 0.00044 ^a	0.762 ± 0.0023 ^a

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

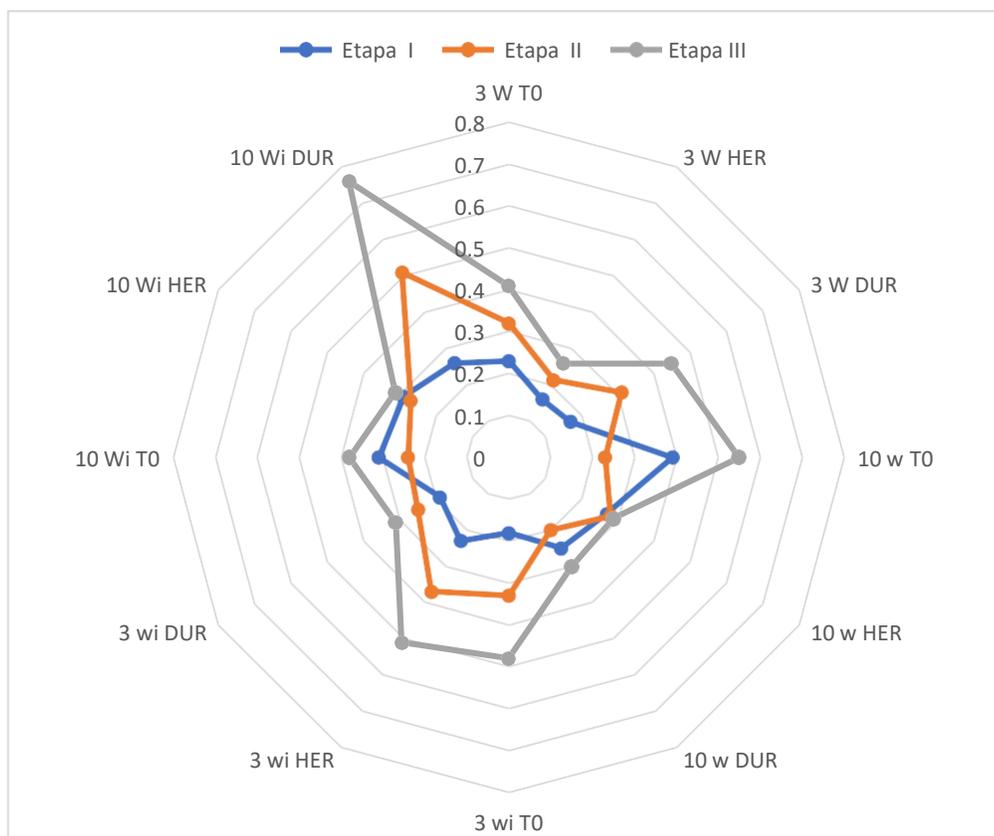


Figura 7. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de índice de acidez (% AGL oleico) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

6.5. Índice de peróxidos

Los resultados de la etapa I mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Estos resultados son aceptados ya que no aportan algún sabor amargo a las unidades experimentales por los bajos índices de peróxidos encontrados basándonos en la NMX-FF-093-SCF-201, Ver Cuadro 12.

En la etapa II existe una diferencia significativa entre tratamientos ($p \leq 0.05$), mostrando un aumento en el índice de peróxidos. Esto debido a la humedad y a la presencia de oxígeno que juega un papel importante (Mehyar *et al.*, 2012).

Los resultados de la etapa III mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$), los tratamientos a 3°C de la variedad *Western Schley* mostraron un aumento importante

debido al grado de oxidación de los ácidos grasos, que reaccionan con el oxígeno e incrementan el valor de peróxido, debido al deterioro previo de las reacciones en cadena con los radicales, causando un aumento de humedad en el tratamiento antes mencionado, provocando un proceso enzimático irreversible (Rockland 1980). En la Figura 8 podemos ver los cambios que hubo en los tratamientos en la etapa I, II y III.

Cuadro 12. Etapas I, II y III de los análisis de índice de peróxidos de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	Peróxidos ($meqO_2/Kg$)		
	I	II	III
3°C Western S. T0	0.102 ± 0.006 ^c	0.203 ± 0.003 ^b	0.650 ± 0.013 ^b
3°C Western S. HER	0.120 ± 0.006 ^c	0.203 ± 0.003 ^b	0.415 ± 0.013 ^d
3°C Western S. DUR	0.120 ± 0.006 ^c	0.203 ± 0.003 ^b	0.720 ± 0.013 ^a
3°C Wichita T0	0.207 ± 0.006 ^b	0.220 ± 0.003 ^b	0.220 ± 0.013 ^f
3°C Wichita HER	0.120 ± 0.006 ^c	0.303 ± 0.003 ^a	0.391 ± 0.013 ^e
3°C Wichita DUR	0.114 ± 0.006 ^c	0.120 ± 0.003 ^c	0.162 ± 0.013 ^g
10°C Western S. T0	0.120 ± 0.006 ^c	0.203 ± 0.003 ^b	0.538 ± 0.013 ^c
10°C Western S. HER	0.303 ± 0.006 ^a	0.330 ± 0.003 ^a	0.333 ± 0.013 ^e
10°C Western S. DUR	0.302 ± 0.006 ^a	0.330 ± 0.003 ^a	0.370 ± 0.013 ^e
10°C Wichita T0	0.301 ± 0.006 ^a	0.320 ± 0.003 ^a	0.333 ± 0.013 ^e
10°C Wichita HER	0.204 ± 0.006 ^b	0.360 ± 0.003 ^a	0.410 ± 0.013 ^d
10°C Wichita DUR	0.305 ± 0.006 ^a	0.300 ± 0.003 ^a	0.370 ± 0.013 ^e

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P > 0.05$).

6.6. Aflatoxinas

No se tuvo presencia de aflatoxinas en ningún tratamiento en la etapa I, dando como resultado 0 (cero) en todos los tratamientos ya que las unidades experimentales se encontraban en perfecto estado.

En la etapa II los resultados mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). En donde los tratamientos con 3°C mostraron mayor presencia de aflatoxinas debido al aumento de humedad durante el almacenamiento. En la mayoría de los tratamientos a 10°C no

existió diferencia significativa entre ellas ($p > 0.05$), dado que estos mostraron resultados menores a 1 ppm.

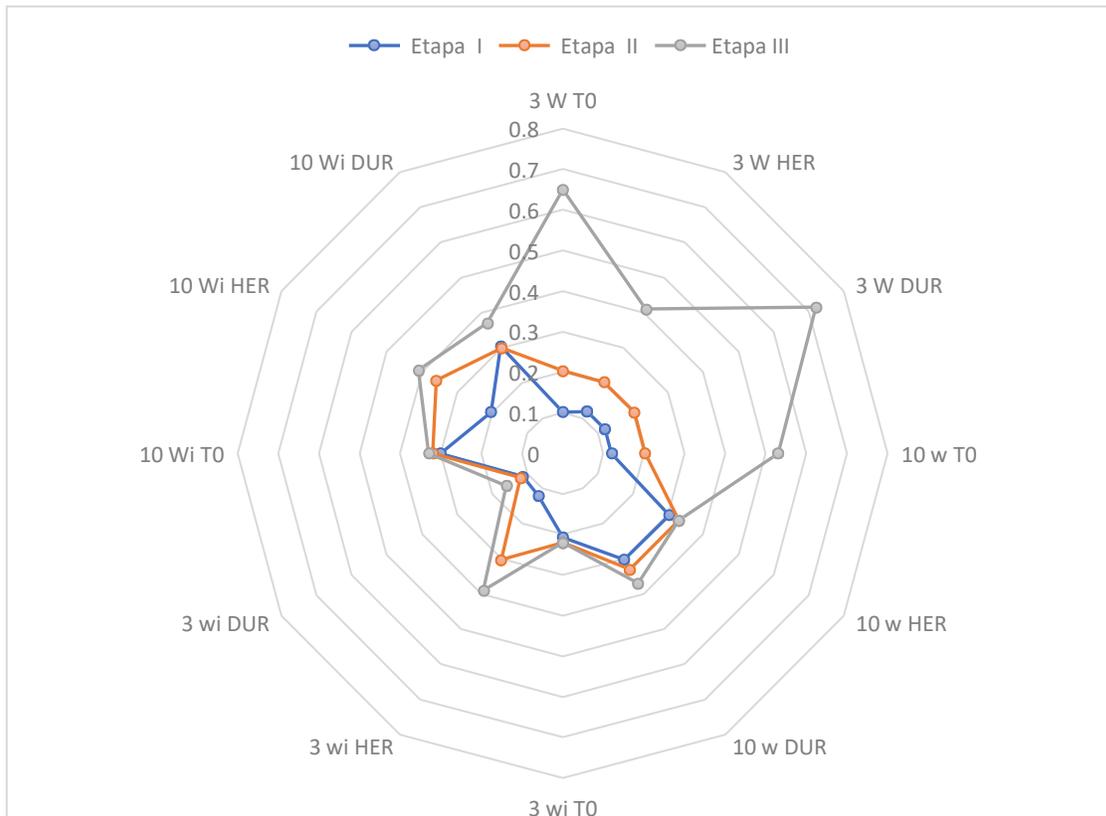


Figura 8. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de índice de peróxido ($meqO_2/Kg$) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

En la etapa III se muestra una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). en donde se los tratamientos a 3°C mostraron un aumento de aflatoxinas en comparación a los tratamientos a 10°C, donde lo podemos observar en el cuadro 13. En general el nivel de aflatoxinas de las variedades *Western Schley* y *Wichita* aún es aceptable para su

consumo humano, de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, que menciona que aún se encuentran por debajo del límite permitido (20 ppm) para el consumo humano. En la figura 9 podemos observar el aumento de aflatoxinas a lo largo de 12 meses de almacenamiento de las variedades *Western Schley* y *Wichita*.

Cuadro 13. Etapa I, II y III de los análisis de aflatoxinas de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

Temperatura/ Variedad/ Antioxidante	Medias		
	Aflatoxinas (ppm)		
	I	II	III
3°C Western S. T0	0	1.200 ± 0.051 ^d	2.370 ± 0.071 ^d
3°C Western S. HER	0	2.500 ± 0.051 ^a	4.900 ± 0.071 ^a
3°C Western S. DUR	0	2.200 ± 0.051 ^b	4.350 ± 0.071 ^b
3°C Wichita T0	0	2.200 ± 0.051 ^b	4.060 ± 0.071 ^b
3°C Wichita HER	0	1.700 ± 0.051 ^c	3.020 ± 0.071 ^c
3°C Wichita DUR	0	1.300 ± 0.051 ^d	2.200 ± 0.071 ^d
10°C Western S. T0	0	1.621 ± 0.051 ^c	3.240 ± 0.071 ^c
10°C Western S. HER	0	0.010 ± 0.051 ^e	1.040 ± 0.071 ^e
10°C Western S. DUR	0	0.010 ± 0.051 ^e	1.040 ± 0.071 ^e
10°C Wichita T0	0	0.010 ± 0.051 ^e	0.970 ± 0.071 ^e
10°C Wichita HER	0	0.010 ± 0.051 ^e	0.098 ± 0.071 ^e
10°C Wichita DUR	0	0.010 ± 0.051 ^e	0.970 ± 0.071 ^e

Valores con la misma letra dentro de columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P>0.05).

7. CONCLUSIONES

1. Las nueces pecanas mostraron cambios en sus características fisicoquímicas (índice de ácidos, índice de peróxidos y aflatoxinas) en un lapso de 12 meses, siendo estos adecuados a la calidad de la nuez pecana, principalmente en su buen sabor en la mayoría de los tratamientos.
2. El tratamiento de conservación a una temperatura a 3°C con la aplicación de los antioxidantes HER y DUR en la variedad *Western Schley* mantuvieron el color inicial de las almendras de nuez.

Los tratamientos de antioxidantes aplicados a la variedad *Wichita* con temperaturas de conservación a 3°C y 10°C tuvieron un mayor pardeamiento a

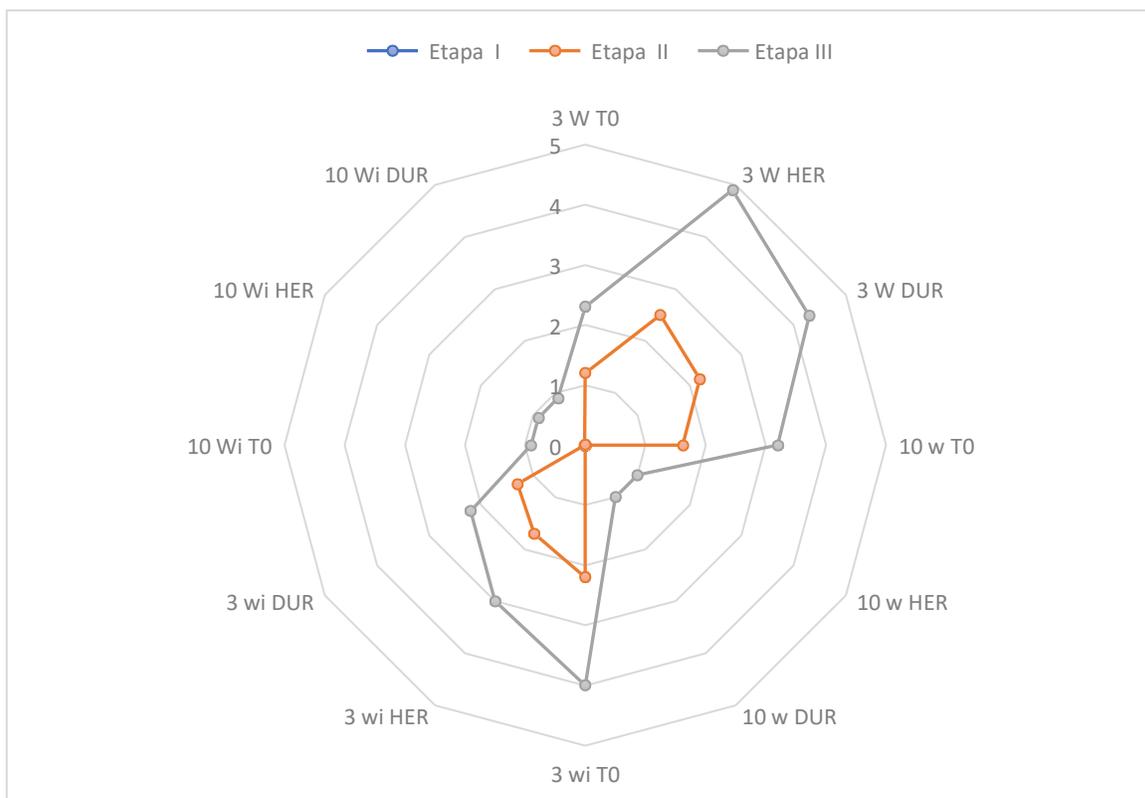


Figura 9. Comparación de medias entre las etapas I, II y III de la diferencia de aflatoxinas (ppm) de las variedades *Western Schley* y *Wichita* almacenadas a temperaturas de 3°C y 10°C.

3. lo largo de esos 12 meses, pero, no se obtuvieron resultados altos en índice de peróxido ni de aflatoxinas.
4. Los tratamientos con HER y DUR con la variedad *Wichita* tanto a 3°C como a 10°C son los más aptos para conservar por más tiempo la calidad de la nuez pecana.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2008). *Tree nuts: Composition, phytochemicals, and health effects: An overview* (pp. 15-24). CRC press.
- Alasalvar, C., Amaral, J. S., & Shahidi, F. (2006). Functional lipid characteristics of Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, *54*(26), 10177-10183.
- Almeida-Doria, R. F., & REGITANO-D'ARCE, M. A. (2000). Antioxidant activity of rosemary and oregano ethanol extracts in soybean oil under thermal oxidation. *Food Science and Technology*, *20*, 197-203.
- Balsano, C., & Alisi, A. (2009). Antioxidant effects of natural bioactive compounds. *Current pharmaceutical design*, *15*(26), 3063-3073.
- Barrera-Arellano, D. (1998). Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. *Grasas y aceites*, *49*(1), 55-63.
- Berger, K. G., & Hamilton, R. J. (1995). Lipids and oxygen: is rancidity avoidable in practice?. In *Developments in oils and fats* (pp. 192-203). Springer, Boston, MA.
- Berset, C., & Cuvelier, M. E. (1996). Revue: méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipides et mesure du pouvoir antioxydant. *Sciences des aliments*, *16*, 219-245.
- Buera, M. D. P., Lozano, R. D., & Petriella, C. (1986). Definition of colour in the non enzymatic browning process. *Die Farbe*, *32*(33), 318-322.
- Caivano, J. L. (1995). *Sistemas de orden del color* (Vol. 12). Jose Luis Caivano.
- Cosgrove, J. P., Church, D. F., & Pryor, W. A. (1987). The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, *22*(5), 299-304.
- Del Ré, P. V., & Jorge, N. (2012). Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. *Revista brasileira de plantas medicinais*, *14*, 389-399..

- Gómez, M., Oliete, B., Caballero, P. A., Ronda, F., & Blanco, C. A. (2008). Effect of nut paste enrichment on wheat dough rheology and bread volume. *Food Science and Technology International*, 14(1), 57-65.
- Guillén, M. D., & Cabo, N. (2002). Fourier transform infrared spectra data versus peroxide and anisidine values to determine oxidative stability of edible oils. *Food chemistry*, 77(4), 503-510.
- Halliwell, B., Murcia, M. A., Chirico, S., & Aruoma, O. I. (1995). Free radicals and antioxidants in food and in vivo: what they do and how they work. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 35(1-2), 7-20.
- Ibáñez, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). Aditivos alimentarios. *Área de Nutrición y Bromatología, Universidad Pública de Navarra*, 3-5.
- Ivanova-Petropulos, V., Mitrev, S., Stafilov, T., Markova, N., Leitner, E., Lankmayr, E., & Siegmund, B. (2015). Characterisation of traditional Macedonian edible oils by their fatty acid composition and their volatile compounds. *Food Research International*, 77, 506-514.
- Janick, J., & Paull, R. E. (Eds.). (2008). *The encyclopedia of fruit and nuts*. CABI.
- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Axelsen, M., Augustin, L. S., & Vuksan, V. (2000). Viscous and nonviscous fibres, nonabsorbable and low glycaemic index carbohydrates, blood lipids and coronary heart disease. *Current opinion in lipidology*, 11(1), 49-56.
- López, R. R., Palafox, A. R. N., Medina, S. M., Ballesteros, F. G. D., & Rivera, M. M. (2014). Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, 872-882.
- Ma, Y., Lu, X., Liu, X., & Ma, H. (2013). Effect of 60Co γ -irradiation doses on nutrients and sensory quality of fresh walnuts during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 84, 36-42.
- Madhavan, N. (2001). Final report on the safety assessment of *Corylus Avellana* (Hazel) Seed Oil, *Corylus Americana* (Hazel) Seed Oil, *Corylus Avellana* (Hazel) Seed Extract, *Corylus Americana* (Hazel) Seed Extract, *Corylus Avellana* (Hazel)

- Leaf Extract, *Corylus Americana* (Hazel) Leaf Extract, and *Corylus Rostrata* (Hazel) Leaf Extract. *International journal of toxicology*, 20, 15-20.
- Masson Salaué, L., & Mella Rojas, M. A. (1985). Materias Grasas de Consumo Habitual y Potencial en Chile: Composición en ácidos grasos.
- McGranahan, G., & Leslie, C. (1991). Walnuts (*Juglans*). *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops* 290, 907-974.
- Mehyar, G. F., Al-Ismail, K., Han, J. H., & Chee, G. W. (2012). Characterization of edible coatings consisting of pea starch, whey protein isolate, and carnauba wax and their effects on oil rancidity and sensory properties of walnuts and pine nuts. *Journal of food science*, 77(2), E52-E59.
- Miraliakbari, H., & Shahidi, F. (2008). Lipid class compositions, tocopherols and sterols of tree nut oils extracted with different solvents. *Journal of Food Lipids*, 15(1), 81-96.
- NMX-F-101-SCFI-2012 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-F-101-SCFI-2006).
- NMX-F-154-SCFI-2010 ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES - DETERMINACIÓN DEL VALOR DE PERÓXIDO – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA LA NMX-F-154-SCFI-2005).
- NMX-FF-093-SCFI-2011 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO – NUEZ PECANERA [*Carya illinoensis*, (Wangenh) K. Koch] SIN CASCARA – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-FF-093-1996-SCFI).
- NMX-FF-093-SCFI-2011 Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – nuez pecana [*Carya illinoensis*, (Wangenh) K. Koch] sin cascara – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-FF-093-1996-SCFI).

- NORMA Oficial Mexicana NOM-188-SSA1-2002, Productos y Servicios. Control de aflatoxinas en cereales para consumo humano y animal. Especificaciones sanitarias.
- Núñez, J., Valdez, B., Martínez, G., & Valenzuela, E. (2001). El nogal pecanero en Sonora Ed. *Inifap Sagarpa*.
- Ojeda Barrios, D. L., Hernández Rodríguez, O. A., López Ochoa, G. R., & Martínez Téllez, J. J. (2009). Evolución de los sistemas de producción de nuez en México. *Tecnociencia Chihuahua*, 3(2), 115-120.
- Orona Castillo, I., Espinoza Arellano, J. D. J., González Cervantes, G., Murillo Amador, B., García Hernández, J. L., & Santamaría César, J. (2006). Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis* Koch.) en la Comarca Lagunera, México. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 295-301.
- Raisi, M., Ghorbani, M., Mahoonak, A. S., Kashaninejad, M., & Hosseini, H. (2015). Effect of storage atmosphere and temperature on the oxidative stability of almond kernels during long term storage. *Journal of Stored Products Research*, 62, 16-21.
- Ramirez, N. G. (2016). Efecto antioxidante del extracto de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) sobre arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) empacada al vacío. *Agroindustrial Science*, 6(1), 107-115.
- Ramos, D. E. (1985). *Walnut orchard management*. Cooperative Extension, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Reyes-Vázquez, N. D. C., & Urrea-López, R. A. F. A. E. L. (2016). Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la nuez pecanera en México. *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, México*.
- Rivera-Rangel, L. R., Aguilera-Campos, K. I., García-Triana, A., Ayala-Soto, J. G., Chavez-Flores, D., & Hernández-Ochoa, L. (2018). Comparison of oil content and

- fatty acids profile of Western Schley, Wichita, and native pecan nuts cultured in Chihuahua, Mexico. *Journal of lipids*, 2018.
- Rockland, L. B., & Nishi, S. K. (1980). Influence of water activity on food product quality and stability. *Food Technology (USA)*.
- Rojano, B. A. (1997). Oxidación de lípidos y antioxidantes. *Escuela de Química*.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)-SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. México. Página web: <http://siap.gob.mx>.
- Salvador, A. A., Podestá, R., Block, J. M., & Ferreira, S. R. S. (2016). Increasing the value of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] cake by means of oil extraction and antioxidant activity evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 116, 215-222.
- Senter, S. D., Forbus Jr, W. R., Nelson, S. O., & Horvat, R. J. (1984). Effects of dielectric and steam heating treatments on the pre-storage and storage color characteristics of pecan kernels. *Journal of Food Science*, 49(6), 1532-1534.
- Serrano Agulló, M. A. (2006). Desarrollo de reestructurados cárnicos potencialmente funcionales mediante la incorporación de nuez.
- Seta, S., González, M., & Moyano, M. I. (2004). Calidad en poscosecha del nogal (*Juglans regia* L.).
- Shahidi, F. (2000). Antioxidants in food and food antioxidants. *Food/nahrung*, 44(3), 158-163.
- SIAP (2019). Panorama Agropecuario. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México
- SIAP, 2016. SAGARPA, México. <http://www.gob.mx/siap/>
- Silva, F. A., Borges, M. F. M., & Ferreira, M. A. (1999). Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. *Química nova*, 22(1), 94-103.
- Trucksess, M. W., Stoloff, L., Brumley, W. C., Wilson, D. M., Hale, O. M., Sangster, L. T., & Miller, D. M. (1982). Aflatoxicol and aflatoxins B1 and M1 in the tissues of

- pigs receiving aflatoxin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 65(4), 884-887.
- Venkatachalam, M., & Sathe, S. K. (2006). Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(13), 4705-4714.
- Vigo Contreras, C. M. (2014). Características físico-químicas de un reestructurado de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) con inclusión de pecana (*Carya illinoensis*) y transglutaminasa.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(12), 4026-4037.

9. APÉNDICE

A 1. Equipo analizador de textura TA.XT Plus.



A 2. Colorímetro marca chin spec utilizando los parámetros de L^* , a^* y b^* .



A 3.Extracción del aceite de nuez con un tornillo de banco, dos placas de acero inoxidable y dos prensas tipo C.



A. 4 Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Western Schley 3°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Western Schley 3°C T0 (presencia evidente de hongos y levaduras), imagen 3 el tratamiento Western Schley 3°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Western Schley 3°C HER en sus etapas finales respectivamente.



IMAGEN 1

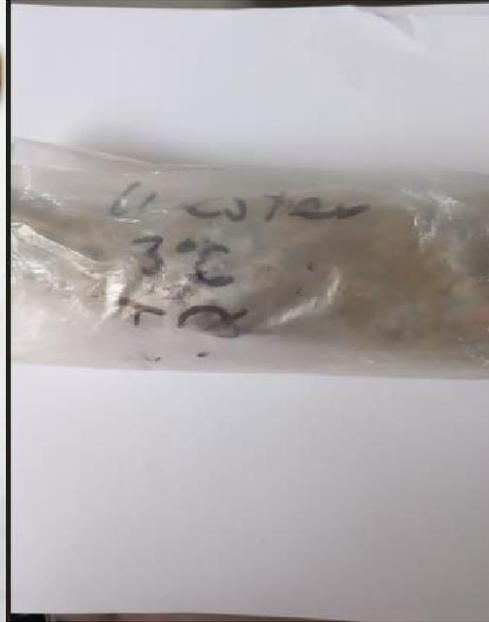


IMAGEN 2

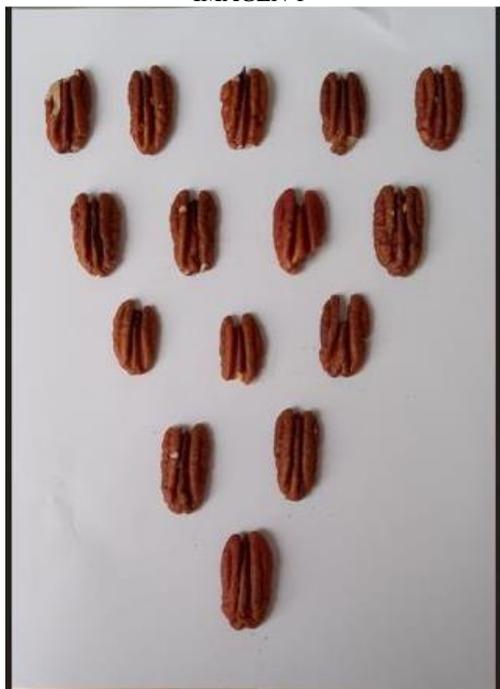


IMAGEN 3



IMAGEN 4

A. 5 Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Western Schley 10°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Western Schley 10°C T0, imagen 3 el tratamiento Western Schley 10°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Western Schely 10°C HER en sus etapas finales respectivamente.



IMAGEN 1



IMAGEN 2



IMAGEN 3



IMAGEN 4

A. 6 Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Wichita 3°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Wichita 3°C T0, imagen 3 el tratamiento Wichita 3°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Wichita 3°C HER en sus etapas finales respectivamente.



IMAGEN 1



IMAGEN 2



IMAGEN 3



IMAGEN 4

A. 7 Diferencia de color entre la etapa I y III, la imagen 1 del tratamiento Wichita 10°C T0 muestra el color inicial de las nueces pecanas, en la imagen 2 muestra el tratamiento Wichita 10°C T0, imagen 3 el tratamiento Wichita 10°C DUR y la imagen 4 el tratamiento Wichita 10°C HER en sus etapas finales respectivamente.



IMAGEN 1

IMAGEN 2

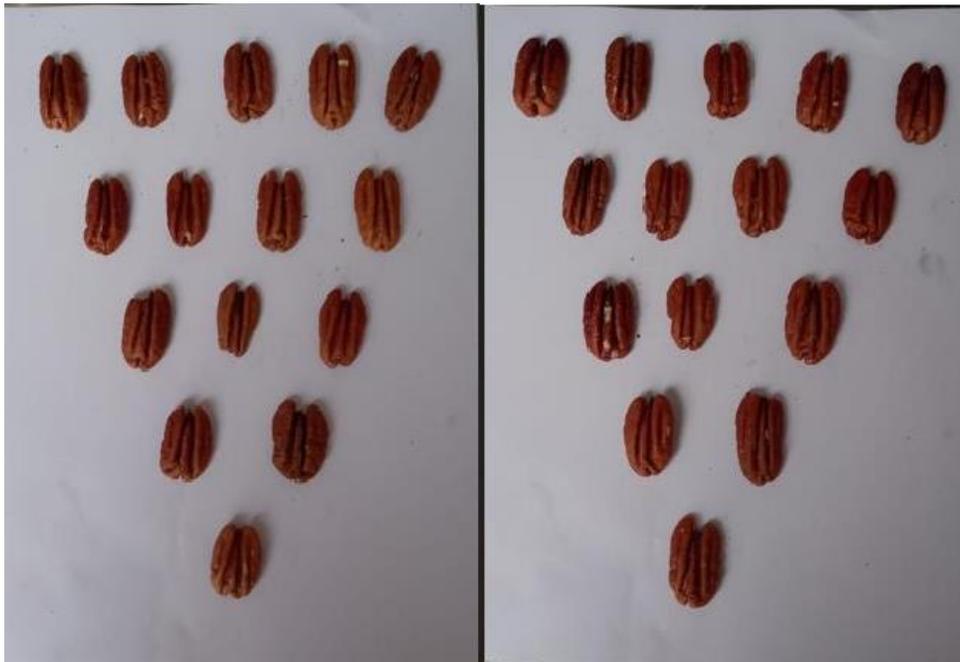


IMAGEN 3

IMAGEN 4