

Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la
Nuez pecanera en México



Nohemí del Carmen Reyes Vázquez
Rafael Urrea López



**Retos y oportunidades para el aprovechamiento
de la Nuez pecanera en México.**

Nohemí del Carmen Reyes Vázquez

Rafael Urrea López

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
(CIATEJ)

Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la Nuez pecanera en México.

Primera edición, 2016

© Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco

Av. Normalistas 800, colonia Colinas de la Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México.

www.ciatej.mx

ISBN 978-607-9742-1-8-8

No se permite la reproducción total o parcial de la obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, o grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Arts. 229 y siguientes de la Ley Federal de Derechos de Autor y Arts. 424 y siguientes del Código Penal Federal).

Autores: Ángela Suárez Jacobo, Efraín Obregón Solís, Evaristo Urzúa Esteva, Jesús Cervantes Martínez, Jorge Alberto García Fajardo, Nohemí del Carmen Reyes Vázquez, Rafael Urrea López

Editores literarios: Nohemí del Carmen Reyes Vázquez, Rafael Urrea López

Diseño portada: Jorge Valente García

Índice de Contenidos

Prólogo

Capítulo 1 Retos y oportunidades en la producción de nuez pecanera en México	1
Introducción	1
Antecedentes	2
Historia y origen.....	2
Morfología y composición	4
Requerimientos climáticos y de suelo.....	8
Producción de nuez pecanera en México	9
Comercio exterior de la nuez pecanera	18
La amenaza del cambio climático para la producción de nuez pecanera.....	20
Proyección de la magnitud del cambio climático en México	21
Proyección de cambios en la temperatura en México.....	21
Proyección de cambios en las precipitaciones en México	24
Amenazas abióticas al cultivo de nuez pecanera en México	27
Amenaza de estrés osmótico en la producción	27
Amenaza de estrés por temperatura en la producción.....	33
Amenaza de estrés por salinidad en la producción	35
Amenazas bióticas al cultivo de nuez pecanera en México	36
Problemas fitosanitarios por bacterias en producción.....	36
Problemas fitosanitarios por insectos en producción.....	37
Problemas fitosanitarios por hongos en producción	39
Efectos del cambio climático sobre las amenazas bióticas en la agricultura	39
Prospectiva de la producción de nuez pecanera ante el cambio climático.....	42
Mitigación de emisiones de gases efecto invernadero en la producción de nuez pecanera	42
Adaptación del cultivo de nuez pecanera al cambio climático	43
Referencias	46
Capítulo 2 Tecnologías de extracción y métodos de cuantificación de fitocompuestos	54
Introducción	54
Antecedentes.	55
Tecnologías Tradicionales de Extracción de Fitocompuestos.	55
Tecnologías No Convencionales de Extracción de Biocompuestos.	56
Extracción asistida por enzimas	57
Extracción asistida con microondas	57
Extracción asistida por ultrasonido	57
Extracción con líquido presurizado.....	58
Extracción con Fluido Supercrítico.....	58
Destilación molecular.....	60
Métodos para la identificación y cuantificación de fitocompuestos.	63
Métodos Convencionales	63

Métodos ópticos no destructivos.....	64
Fluorescencia Inducida por Láser (LIF).....	64
Espectroscopia Raman	65
Conclusiones.	66
Prospectiva tecnológica para la agroindustria de la nuez.....	67
Referencias.....	69
Capítulo 3 Oportunidades tecnológicas para la nuez en el sector alimenticio	73
Introducción	73
Post-cosecha y oportunidades tecnológicas para diversificar los mercados de la nuez en el sector alimenticio	74
Post-cosecha de la Nuez Pecanera	74
Cosecha, Recolección, Descascarado, Desinfección, Selección, Secado y Almacenamiento.	75
Atributos de calidad de importancia económica para la nuez pecanera.....	78
Tamaño.....	78
Color.....	80
Rancidez.....	80
Porcentaje (%) de aceite	80
Contenido de contaminantes	80
Características globales- Daños y defectos.....	80
Otros índices de calidad	81
Comercialización y valor agregado.....	81
Valor agregado y consumo en productos tradicionales y emergentes	83
Productos tradicionales Mexicanos.....	84
Confitería y snacks: Glorias, besos indios, garapiñados.	84
Prospectiva de nuevos productos con nuez en mercados internacionales y nacionales..	86
Características de los nuevos productos a base de nuez pecanera.	88
Aceite de nuez como ingrediente para alimentos funcionales.	90
Leche de nuez.....	90
Harina de nuez como sustituto de Carne.....	90
Aditivos o ingredientes para alimentos.	91
Referencias.....	92
Capítulo 4 Aprovechamiento integral de la nuez pecanera como fuente de fitocompuestos..	96
Introducción	96
Antecedentes.	97
Composición nutrimental.....	97
Fitoquímicos en la nuez pecanera.	97
Almendra y Cáscara.	97
Aceite.	100
Propiedades Bioactivas.	102
Actividad Antioxidante.	102
Actividad Antimicrobiana.....	103
Actividad Anti-hipercolesterolemica.	104

Actividad anti-inflamatoria	105
Aplicación en la industria: Alimentaria, Cosmética, Farmacia.....	105
Alimentos.....	105
Cosméticos.....	106
Farmacia.....	106
Prospectiva de investigación de la nuez.....	106
Aprovechamiento integral de la nuez pecanera.....	107
Conclusiones	108
Referencias	109

Índice de Figuras

Figura 1-1 Mapa de distribución geográfica de Nogales pecaneros en América del Norte.	3
Figura 1-2 Morfología de hojas y frutos de nogal pecanero [<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch] cultivar “Western Schley”.	4
Figura 1-3 Comportamiento del área sembrada con nogal pecanero a nivel nacional en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores.	10
Figura 1-4 Comportamiento del volumen de producción a nivel nacional de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores.....	11
Figura 1-5 Comportamiento del rendimiento en la producción de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores a nivel nacional.	12
Figura 1-6 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Chihuahua para el año 2014.	13
Figura 1-7 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Coahuila para el año 2014.	14
Figura 1-8 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Sonora para el año 2014.	15
Figura 1-9 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Durango para el año 2014.....	16
Figura 1-10 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Nuevo León para el año 2014.....	17
Figura 1-11 Comparativo del volumen de producción en toneladas de nuez pecanera en el periodo 1980 a 2015, entre Estados Unidos (USA) y México.	18
Figura 1-12 Comportamiento del volumen de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 2003 a 2015.	19
Figura 1-13 Comportamiento del valor de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 2003 a 2015.	20
Figura 1-14 Proyección de cambio en la temperatura promedio anual en México en un escenario intermedio de emisiones de CO ₂ (RCP4,5), en un futuro cercano (A) y futuro lejano (B).	22
Figura 1-15 Proyección de cambio en la temperatura promedio anual en México en un escenario muy alto de emisiones de CO ₂ (RCP8,5), en un futuro cercano (A) y futuro lejano (B).	23
Figura 1-16 Proyección de diferencias en la temperatura media anual en México entre el clima contemporáneo (promedio 1960-1990) y el 2090 bajo un en escenario de emisiones medio-alto (A2).	24

Figura 1-17 Proyección de porcentaje de cambio en precipitación promedio anual en México en un escenario intermedio de emisiones de CO ₂ (RCP4,5), en un futuro cercano (A) y lejano (B).	25
Figura 1-18 Proyección de porcentaje de cambio en precipitación promedio anual en México en un escenario muy alto de emisiones de CO ₂ (RCP8,5), en un futuro cercano (A) y lejano (B).	26
Figura 1-19 Resumen de costos de producción de nuez pecanera en el estado de Coahuila para el año 2016 usando riego por aspersión.	28
Figura 1-20 Volumen concesionado por uso consuntivo por región hidrológico-administrativa, 2012.	30
Figura 1-21 Distribución espacial de la precipitación media anual en México.	31
Figura 1-22 Condición de explotación de los acuíferos en México para el año 2014.	32
Figura 1-23 Cuencas hidrológicas en déficit en 2014.	33
Figura 1-24 Distribución espacial del riesgo por sequía en México.	35
Figura 1-25 Distribución de hospederos potenciales de la bacteria <i>Xylella fastidiosa</i> en México.	37
Figura 2-1 Clasificación de las técnicas de extracción y separación de compuestos bioactivos.	56
Figura 2-2 Esquema para un equipo de extracción con CO ₂ supercrítico.	59
Figura 2-3 Esquema del Destilador Molecular.	61
Figura 2-4 Espectros de Fluorescencia Inducida por Láser de Nuez, Cáscara y Aceite intactos.	65
Figura 2-5 Espectros Raman de nuez, cáscara, aceite y solución acuosa.	66
Figura 3-1 Cadena productiva Sistema Producto Nuez. (Comité Estatal del sistema producto Nuez del Estado de Chihuahua, 2012).	75
Figura 3-2 Comercialización de nuez pecanera en supermercado nacional. Nov-2015 y Nov-2016 respectivamente.	83
Figura 3-3 Productos tradicionales mexicanos elaborados con nuez pecanera.	85
Figura 3-4 Lanzamiento de nuevos productos con nuez pecana como ingrediente en Norteamérica (Fuente: Mintel).	86
Figura 3-5 Distribución por categoría de alimentos nuevos en el mercado conteniendo nuez pecana del 2010 al 2015 (Fuente: Mintel).	87
Figura 3-6 Lanzamientos de nuevos alimentos con nuez pecana entre 2010 y 2015 (Fuente: Mintel).	88

Figura 4-1 Descripción del aprovechamiento integral de la nuez pecanera mediante la extracción y/o separación de sus compuestos bioactivos a partir de sus principales fracciones y su aplicación potencial.	107
Figura 4-2 Almendra y cáscara de nuez pecanera potencialmente aprovechables en la obtención de biocompuestos.....	108

Índice de tablas

Tabla 1-1 Composición proximal de la nuez pecanera.....	5
Tabla 1-2 Contenido de aminoácidos de la nuez pecanera.....	6
Tabla 1-3 Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecanera.....	7
Tabla 2-1 Comparación de algunos métodos de extracción de compuestos bioactivos.....	62
Tabla 3-1 Condiciones de almacenamiento de la nuez después de la cosecha.....	77
Tabla 3-2 Clasificación por tamaños de nuez pecanera con y sin cáscara para su comercialización.....	79
Tabla 3-3 Empresas en México con nuevos productos conteniendo nuez introducidos entre 2010 y 2015 Fuente: Mintel).	89
Tabla 4-1 Composición proximal de almendra, y cáscara de la nuez pecanera	98
Tabla 4-2 Compuestos polifenólicos en almendra y cáscara de nuez pecanera	99
Tabla 4-3 Ácidos grasos y tocoferoles presentes en la almendra y aceite de la nuez pecanera	101
Tabla 4-4 Actividad antioxidante de nuez pecanera cultivada en tres regiones del estado de Chihuahua.....	103

Prólogo

En el año 2015, México se posicionó como el 12° país en producción mundial de alimentos, producto de las ventajas naturales que le brinda su ubicación geográfica y el empuje del sector público y privado para aprovechar este potencial. Un ejemplo de éxito agrícola de la explotación de estas características naturales de México lo constituye la nuez pecanera.

En los últimos 30 años la producción de nuez pecanera en México ha experimentado un rápido crecimiento, su área sembrada casi se ha triplicado en la región Norte del país, correspondiente al área de distribución natural del nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], y su producción ha aumentado 3.7 veces impulsada por el incremento de la demanda internacional, llegando incluso a superar la producción de los Estados Unidos de América en los años de 2014 y 2015. Este incremento de la producción de nuez pecanera ha posicionado a México como uno de los principales exportadores en el mercado internacional, lo cual generó en el año 2015 un superávit comercial nacional mayor a los \$330 millones de dólares (SIAP, 2016).

La importancia económica actual de la producción de nuez pecanera para la región Norte de México y su potencial de desarrollo, motivó el análisis de la información sobre los retos y oportunidades para su aprovechamiento, en la cual participaron investigadores del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). El CIATEJ es un Centro Público de Investigación que pertenece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con 40 años de experiencia en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación que ayudan a la competitividad de los sectores agrícola, alimentación, salud y medio ambiente.

El presente libro fue elaborado con base en información actualizada de bases de datos científicas y tecnológicas, así como de múltiples fuentes oficiales con el fin de realizar una evaluación sobre los principales retos bióticos y abióticos que enfrenta la producción de nuez pecanera en México a nivel de campo; de los principales fitocompuestos presentes en la nuez y las tecnologías disponibles para su extracción y purificación; así como de las aplicaciones actuales en la industria alimenticia. El material presentado busca motivar la discusión y análisis del sistema producto nuez así como plantear el potencial en investigación y desarrollo para este sector.

El libro se divide en cuatro capítulos, en el primero se presenta un panorama amplio de las amenazas actuales y futuras que el rápido cambio climático impone a la producción de nuez pecanera en México, buscando promover la discusión y reflexión de los retos y áreas de oportunidad a nivel nacional. En el segundo capítulo se presentan diversas tecnologías tradicionales y no convencionales de extracción y purificación de fitocompuestos de interés

presentes en la nuez pecanera, así como de métodos para su identificación y cuantificación. El tercer capítulo trata las oportunidades tecnológicas para la nuez pecanera en el sector alimenticio, presentando los principales pasos de post-cosecha, los principales atributos de calidad de importancia económica, y la tendencia de su uso en diversos productos alimenticios. El cuarto capítulo trata el tema del aprovechamiento integral de la nuez pecanera como fuente de fitocompuestos, presentando los principales fitocompuestos con propiedades bioactivas, antioxidantes, antimicrobianos, anti-hipercolesterolémicos y anti-inflamatorios, que han demostrado tener potencial aplicación en productos nutracéuticos, cosmeceúticos y/o farmacéuticos. Al finalizar cada capítulo se presenta una breve prospectiva sobre el tema con el fin de proponer áreas de oportunidad con alto potencial para el sistema producto nuez, acorde a las áreas de desarrollo e innovación del CIATEJ en tecnología alimentaria y biotecnología vegetal.

El presente libro es un reflejo del esfuerzo del CIATEJ por apoyar desde su quehacer científico los sectores agrícolas de mayor importancia para la región Norte de México, con el fin de convertirse en su aliado tecnológico para contribuir en su competitividad mediante la aplicación innovadora de la biotecnología.

Capítulo 1 Retos y oportunidades en la producción de nuez pecanera en México

Rafael Urrea López y Evaristo Urzúa Esteva

Introducción

En los últimos años México se ha posicionado como un actor importante en el mercado de la nuez pecanera hasta escalar al primer puesto en exportación mundial. El gran potencial de producción de nuez pecanera demostrado por México invita a la reflexión sobre su sostenibilidad y aprovechamiento. Este capítulo explora los principales estreses bióticos y abióticos que amenazan en el presente y en el futuro cercano la sostenibilidad de la producción de nuez pecanera.

Dentro de las diferentes condiciones sub-óptimas que ponen en riesgo la sostenibilidad del cultivo se hace especial énfasis en las abióticas por el reto que estas significan en la actualidad, así como las crecientes evidencias que confirman el acelerado calentamiento global y el aumento de las proyecciones de cambio climáticas. También se presentan algunos de los principales agentes bióticos que amenazan el desarrollo y productividad del cultivo en México y se analiza el efecto del calentamiento global sobre ellos.

El documento fue elaborado con base en información actualizada de bases de datos científicas y tecnológicas, así como de múltiples fuentes oficiales para proveer al público en general una imagen amplia de las amenazas actuales y futuras que el rápido cambio climático impone a la producción de nuez pecanera en México, buscando promover la discusión y reflexión de los retos y áreas de oportunidad a nivel nacional.

Rafael Urrea López, Dr.
Biotecnología Vegetal, CIATEJ unidad Noreste
rurrea@ciatej.mx

Evaristo Urzúa Esteva, M.A.
Vinculación y Transferencia de Tecnología, CIATEJ unidad Guadalajara
eurzua@ciatej.mx

Antecedentes

Historia y origen

El género *Carya*, miembro de la familia Juglandaceae, comprende más de 20 especies, de las cuales trece son nativas de Estados Unidos de América (USA por sus siglas en inglés), y siete son cultivadas por sus nueces, siendo el nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] el único con importancia económica a nivel mundial. El Nogal pecanero es una especie perenne altamente valorada por sus nueces pecaneras. Las nueces pecaneras hacen parte de la dieta de un gran número de aves, zorros, ardillas, tlacuaches, pecaríes y mapaches (Burns & Honkala, 1990), al igual que de los humanos quienes vienen aprovechándolas por su valor nutricional desde hace más de 10,000 años, motivo que ha favorecido su dispersión geográfica en su región de origen, Norteamérica.

La evidencia arqueológica más antigua de su recolección por parte de los humanos para subsistencia data de 8,000 años AC durante el periodo arcaico de América, en el asentamiento Modoc Rock, actual estado de Illinois-USA (latitud 38° Norte), correspondiente al límite más norte de su distribución geográfica. La evidencia arqueológica de su distribución más occidental data de hace 8,000 años, recuperada en la cueva Baker en el condado de Val Verde (longitud 101° Occidente), en el estado de Texas en USA. Su límite oriental ha sido encontrado en el estado de Alabama en USA (longitud 87° Occidente), relacionado con la cultura misisipiana del medio-oeste de los años 1050–1250 AC. Hacia el sur la especie se distribuye, en la actualidad, hasta el estado de Oaxaca en México (latitud 17° Norte), aunque su límite histórico de distribución geográfica hacia el sur no está sustentando por evidencias arqueológicas sí lo está por la variación genética en plástidos, la cual sugiere que no son el producto de una introducción reciente en la zona (Grauke, Mendoza-Herrera, Miller, & Wood, 2011).

Los nogales pecaneros han sobrevivido por más de 10 milenios en Norteamérica como también lo ha hecho el gusto de los humanos por sus nueces, motivando en un principio la conservación de los nogales en bosques naturales para la recolección de sus nueces y recientemente el establecimiento y cuidado de plantaciones, junto con la labor de búsqueda de variedades de mayor producción. Los registros indican que en el siglo XIX se produjeron los primeros injertos exitosos de nogal pecanero, lo cual detonó la siembra a gran escala y una mayor producción bajo el entusiasmo de nuevos cultivares mejorados, sin embargo, el proceso de mejoramiento de la especie ha sido difícil debido a sus largos ciclos juveniles y a la naturaleza heterocigota de la especie (Thompson & Conner, 2012).

La distribución de la especie *Carya* en esta vasta zona geográfica del continente americano es el resultado de su adaptación a diferentes condiciones ambientales, por ejemplo se ha observado una reducción en la densidad estomatal en las hojas de los nogales pecaneros que crecen en zonas con menores precipitaciones anuales, lo que sugieren un mecanismo adaptativo para reducir las pérdidas de agua por evapotranspiración (Sagaram & Lombardini, 2011).

La distribución geográfica actual de la especie *Carya* sobrepasa los antecedentes históricos al extenderse desde el estado de Carolina del Sur hasta California en USA, longitud 80° a 120° Occidente respectivamente; y desde el estado de Missouri en USA a Oaxaca en México, latitud 38° a 17° Norte respectivamente (Ver Figura 1-1). Actualmente la producción de nuez pecanera proviene en su mayoría de plantaciones en lugar de bosques naturales, en el periodo de 2009-2011 el 82% de la producción de USA se obtuvo de cultivares mejorados (Graham, 2013).

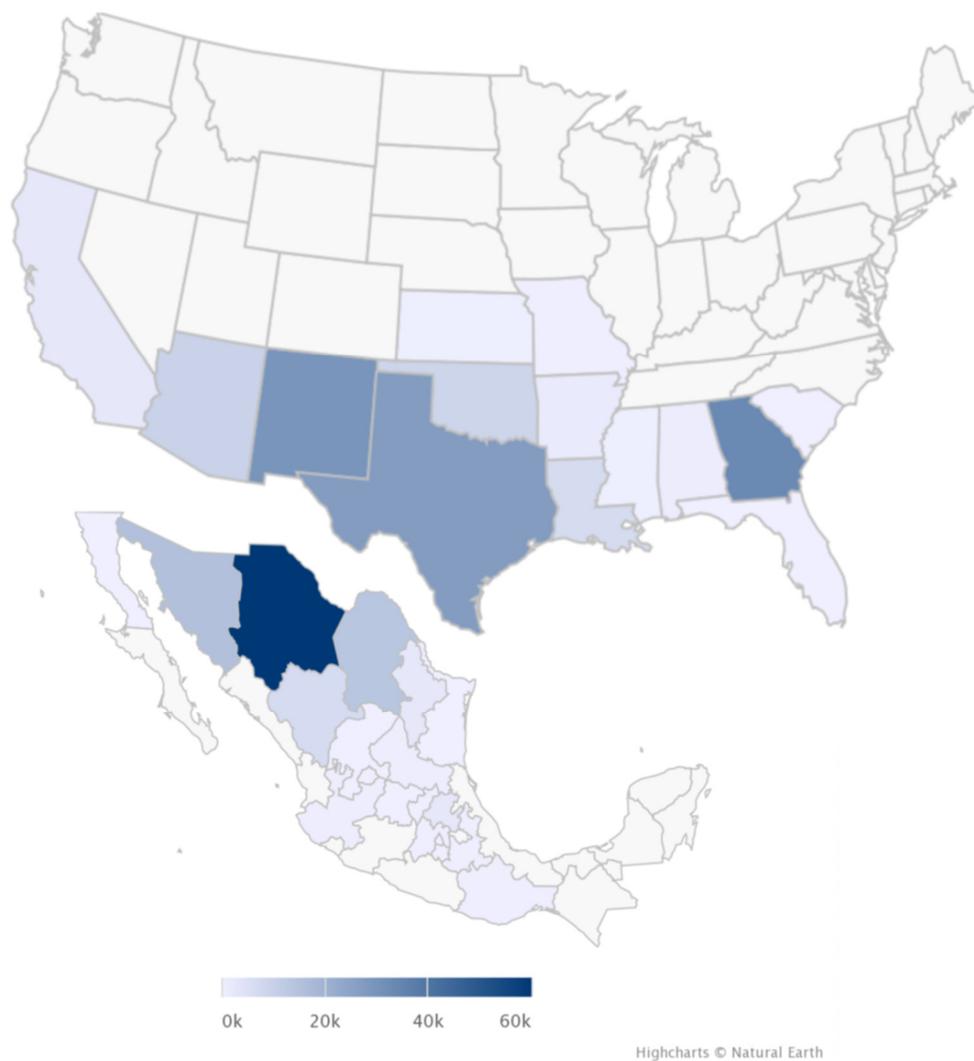


Figura 1-1 Mapa de distribución geográfica de Nogales pecaneros en América del Norte. La escala de color azul es directamente proporcional a la producción en toneladas de nuez pecanera para el año 2014. Mapa elaborado en <http://jsfiddle.net/>, con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Y “Pecan report,” del Agricultural Marketing Service, 2015, (XXXII), 24.

Morfología y composición

El nogal pecanero es una planta angiosperma dicotiledónea leñosa de hábito arbóreo de 30 a 45 m de alto y 2 m de diámetro, caducifolio con hojas compuestas sésiles imparipinnadas, con folíolos opuestos de 5 a 10 cm de largo, donde cada hoja puede tener entre 9 y 17 folíolos de borde aserrado (Ver Figura 1-2), la distribución de las hojas es alterna, el color es variable entre Amarillo-verde en el cultivar “desirable” al extremo oscuro de “Pawnee”. El nogal pecanero es una fanerógama diclino-monoica con flores unisexuales, de amentos erectos de estambres las masculinas y péndulos de estigmas las femeninas, con dicogamia y polinización anemófila. Su fruto es drupáceo, monospermo dehiscente con endocarpio endurecido (Burns & Honkala, 1990; Wagner, Vendrame; Hazel, 2005).



Figura 1-2 Morfología de hojas y frutos de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivar “Western Schley”.

Fotografía tomada en plantación del municipio de Jiménez, estado de Chihuahua, México, en Septiembre de 2015.

La mayoría de los cultivares presentan dicogamia incompleta, pero en algunos no hay ningún empalme entre la liberación del polen y la recepción del estigma, esta asincronía en el desarrollo floral hace necesario el uso de más de un cultivar en las plantaciones para asegurar la polinización. En la región occidente de USA y en México los cultivares usados en producción comercial son en su mayoría “Western Schley” y “Wichita” esta última utilizada principalmente como polinizadora (Burns & Honkala, 1990; Herrera, 1995).

De acuerdo con la base de datos de la composición de los alimentos del departamento para la agricultura de los Estados Unidos (US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016), en la composición proximal de las nueces pecaneras destaca el alto contenido de lípidos, seguido de carbohidratos, fibra alimentaria y proteínas (Ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Composición proximal de la nuez pecanera

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Agua	g	3.52
Energía	kcal	691
Proteínas	g	9.17
Lípidos totales	g	71.97
Cenizas	g	1.49
Carbohidratos	g	13.86
Fibra alimentaria	g	9.6
Azúcares totales	g	3.97

Nota. g = gramos, Kcal = Kilo calorías

Adaptado de “National Nutrient Database for Standard Reference” del US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>

El contenido de proteínas en la nuez pecanera está conformado por 18 diferentes amino ácidos, de los cuales diez son aminoácidos esenciales, entre ellos: Arginina, Fenilalanina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Treonina, Triptófano y Valina. Los aminoácidos más abundantes en nuez pecanera son el Ácido glutámico y la Arginina con más de 1 gr por cada 100 gramos de nuez (Ver Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Contenido de aminoácidos de la nuez pecanera

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Ácido glutámico	g	1.829
Arginina	g	1.177
Ácido aspártico	g	0.929
Leucina	g	0.598
Serina	g	0.474
Glicina	g	0.453
Fenilalanina	g	0.426
Valina	g	0.411
Alanina	g	0.397
Prolina	g	0.363
Isoleucina	g	0.336
Treonina	g	0.306
Lisina	g	0.287
Histidina	g	0.262
Tirosina	g	0.215
Metionina	g	0.183
Cistina	g	0.152
Triptófano	g	0.093

Nota. g = gramos,

Adaptado de “National Nutrient Database for Standard Reference” del US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>

La nuez pecanera además de ser una rica fuente de lípidos, también es una fuente natural de minerales y vitaminas, básicos en la alimentación humana, entre los minerales los más abundantes son el Potasio, el Fósforo y el Magnesio, con 410, 277 y 121 mg por cada 100 g, respectivamente; entre los minerales también destaca el bajo contenido de sodio igual a 0 mg por cada 100 g. De las vitaminas presentes en la nuez pecanera las más abundantes son la Colina y Gama-Tocoferol (Ver Tabla 1-3).

Tabla 1-3 Contenido de minerales y vitaminas de la nuez pecanera

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Minerales		
Potasio	mg	410
Fósforo	mg	277
Magnesio	mg	121
Calcio	mg	70
Zinc	mg	4.53
Manganeso	mg	4.5
Fierro	mg	2.53
Cobre	mg	1.2
Fluoruro	µg	10
Selenio	µg	3.8
Sodio	mg	0
Vitaminas		
Colina	mg	40.5
Gama-Tocoferol	mg	24.44

(Continua)

Nutriente	Unidad	Valor por 100 g
Niacina	mg	1.167
Ácido ascórbico total	mg	1.1
Ácido pantótenico	mg	0.863
Betaína	mg	0.7
Tiamina	mg	0.66
Delta-Tocoferol	mg	0.47
Beta-Tocoferol	mg	0.39
B-6	mg	0.21
Riboflavina	mg	0.13
Beta-Caroteno	µg	29
Folatos totales	µg	22
Beta-Criptoxantina	µg	9
Vitamina K	µg	3.5
Vitamina A	µg	3
Vitamina A, UI	UI	56

Nota. g = gramos, mg = miligramos, µg = microgramos, UI = unidad internacional

Adaptado de “National Nutrient Database for Standard Reference” del US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2016. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>

Requerimientos climáticos y de suelo

El mejor desarrollo del nogal pecanero ha sido observado en suelos arcillosos bien drenados, aunque las plántulas soportan periodos cortos de inundación no soportan ser sometidos a inundaciones prolongadas. Se les ha observado creciendo tanto en suelos maduros o profundos como los Luvisoles con horizontes diferenciados incluido el orgánico, como en suelos jóvenes o someros como los Regosoles que se caracterizan por ser materiales sueltos sobre una roca consolidada (Burns & Honkala, 1990). En México en los dos municipios con

mayor área sembrada con nogal pecanero, Jiménez y Camargo en el estado de Chihuahua, (De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - SIAP <http://www.siap.gob.mx>) crecen en suelos tipo Regosoles y Calcisoles, este último característico de las zonas áridas y semiáridas del estado de Chihuahua, que presentan un horizonte cálcico en el primer metro cerca de la superficie debido a las altas tasas de evaporación y a la fluctuación de mantos freáticos (CONABIO, 2014).

Los nogales pecaneros son considerados como especie intolerante a la sombra (Burns & Honkala, 1990), debido a una menor tasa de asimilación de CO₂ y por tanto menor síntesis de fotoasimilados vía fotosíntesis capaces de soportar una producción de frutos a un nivel óptimo de rentabilidad. La magnitud de la disminución en la tasa de asimilación máxima de CO₂ en hojas de nogal pecanero a la sombra puede ser de hasta el 50%, razón por la cual en las plantaciones se evita el sombreado de los árboles mediante plantación en monocultivo y podas (Lombardini, Restrepo-Díaz, & Volder, 2009).

Dependiendo de la variedad los nogales pecaneros requieren entre 205 a 233 días libres de heladas para que los frutos alcancen la madurez, lo cual limita su distribución geográfica hasta no más allá de la latitud 40° Norte en el continente americano (Herrera, 1996). El rango natural que abarcan los nogales pecaneros es amplio, pero generalmente discontinuo con muchas poblaciones aisladas, por lo que es probable una considerable diversidad genética, la cual se ve reflejada en cultivares con un amplio rango de adaptación al frío (Wood, Grauke, & Payne, 1998).

Producción de nuez pecanera en México

Para 1946 comenzó en México la producción comercial con más de 15 variedades diferentes, de las cuales se seleccionaron Western Schley y Wichita como las de mejor adaptación (Herrera, 1995) ocupando para el 2001 hasta el 85% del área total sembrada (DL Ojeda-Barrios, Hernández-Rodríguez, López-Ochoa, & Martínez-Téllez, 2009), siendo en su mayoría Western Schley (López-Díaz, Arras-Vota, Hernández-Rodríguez, OA Ojeda-Barrios, Robles-Hernández, & Villalobos-Pérez, 2010). Sin embargo también se siembran genotipos criollos como las variedades Bustamante 1 y 2, Borrado de Parras, y San Antonio (Rayones) (Campos de Jesús et al., 2005).

Acorde con su distribución geográfica natural los nogales pecaneros han sido cultivados en la zona norte de la república Mexicana, principalmente en el estado de Chihuahua donde de acuerdo con registros del Anuario estadístico de la producción agrícola del SIAP desde 1985 se ha cultivado más del 50% del total del área a nivel nacional (SIAP, 2016). El cultivo a nivel nacional del nogal pecanero, impulsado por el incremento de la demanda internacional, ha experimentado un crecimiento acelerado al casi triplicar su área sembrada en los últimos 30 años, los estados con mayor incremento en el área sembrada han sido Sonora, Chihuahua,

Coahuila, Durango y Nuevo León con incrementos de 3.8, 3.7, 2.1, 1.7 y 1.2 veces respectivamente (Ver Figura 1-3).

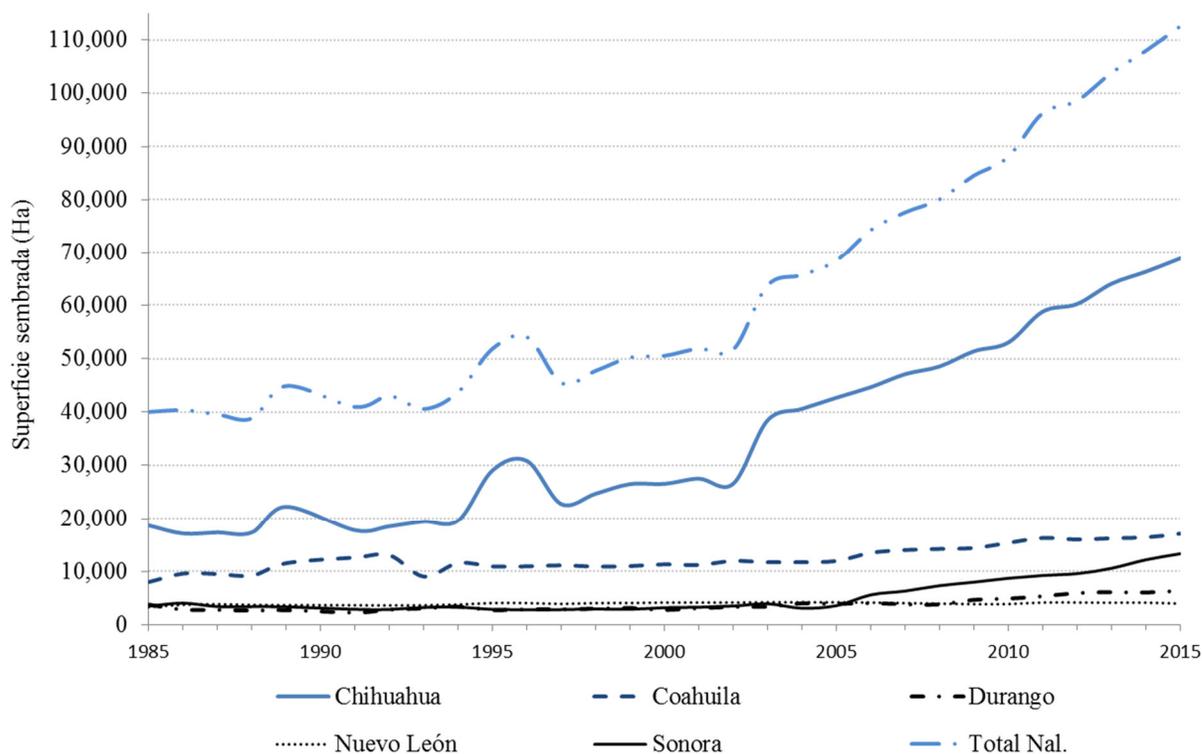


Figura 1-3 Comportamiento del área sembrada con nogal pecanero a nivel nacional en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.

El aumento de 2.8 veces en el área sembrada con nogal pecanero a nivel nacional en los últimos 30 años ha generado un incremento de 3.7 veces en la producción total nacional de nuez pecanera, al pasar de 33,539 toneladas en 1985 a 122,714 en el año 2015. Los mayores incrementos en este periodo de tiempo, de acuerdo con información del Anuario estadístico de la producción agrícola del SIAP, se han obtenido en los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, Nuevo León y Coahuila con incrementos en el volumen de producción de 6.3, 5.9, 2.9, 2.5 y 2.0 veces respectivamente (Ver Figura 1-4).

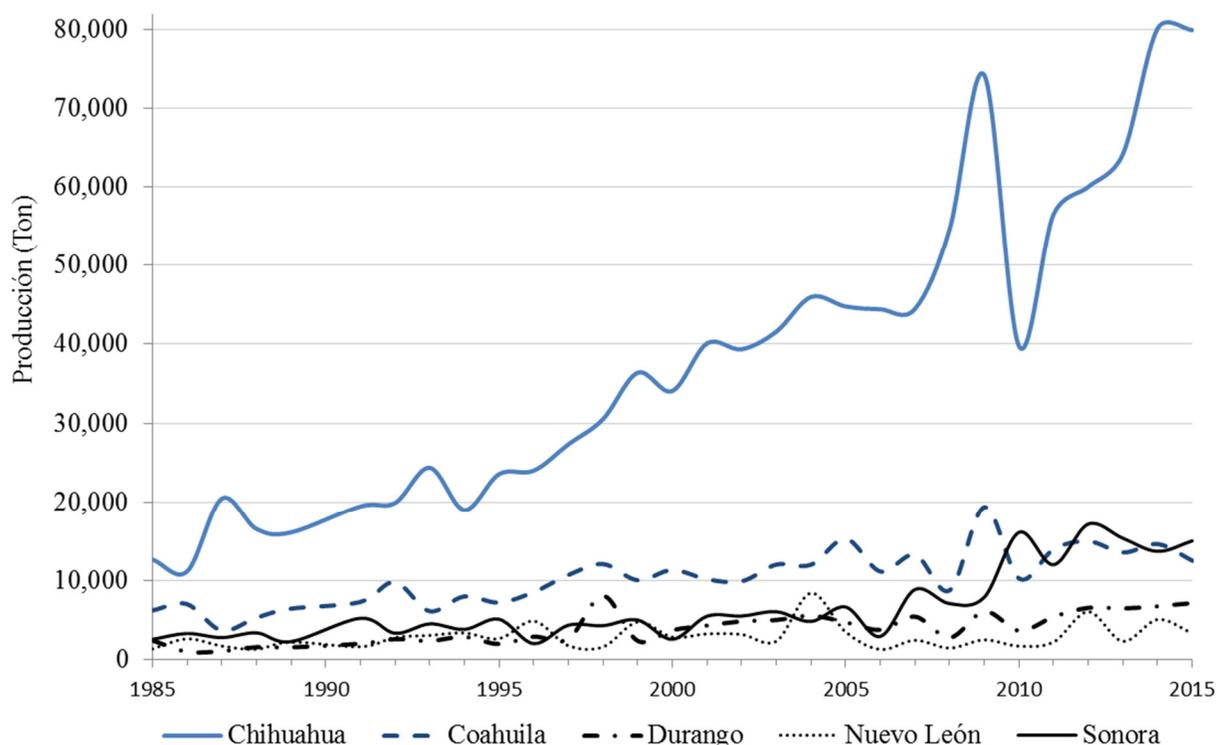


Figura 1-4 Comportamiento del volumen de producción a nivel nacional de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.

El nogal pecanero presenta una marcada alternancia en el rendimiento (Ver Figura 1-5), debido al parecer al agotamiento de las reservas de carbohidratos y energía de la planta, razón por la cual años con alta producción son seguidos de unos con producciones menores (O’Barr et al., 1990), a esto se puede suma el efecto que sobre la generación de brotes pueden tener las condiciones climáticas, como se discute más adelante (Ver Amenaza de estrés por temperatura en la producción).

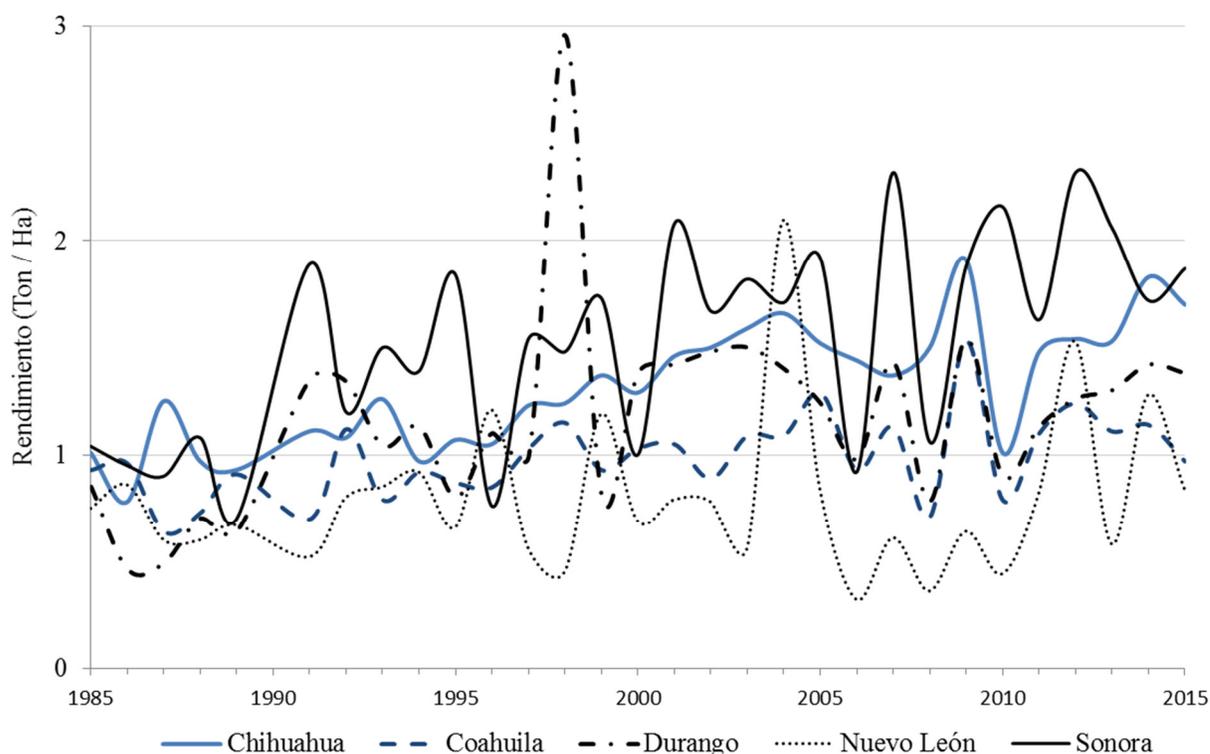


Figura 1-5 Comportamiento del rendimiento en la producción de nuez pecanera en el periodo 1985 a 2015, en los principales estados productores a nivel nacional.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp.

En la actualidad en México una quinta parte de la producción total de nuez pecanera se obtiene de dos municipios ubicados en el Sur-Oriente del estado de Chihuahua, el estado que concentro el 60 % del área sembrada en el año 2014, el año con el volumen record de producción nacional, los municipios de Jiménez y Camargo sumaron en conjunto el 30 % del total del área sembrada y el 33 % del total de la producción a nivel estatal y el 19 % y el 21 % respectivamente a nivel nacional (SIAP-SAGARPA, 2015) (Ver Figura 1-6).

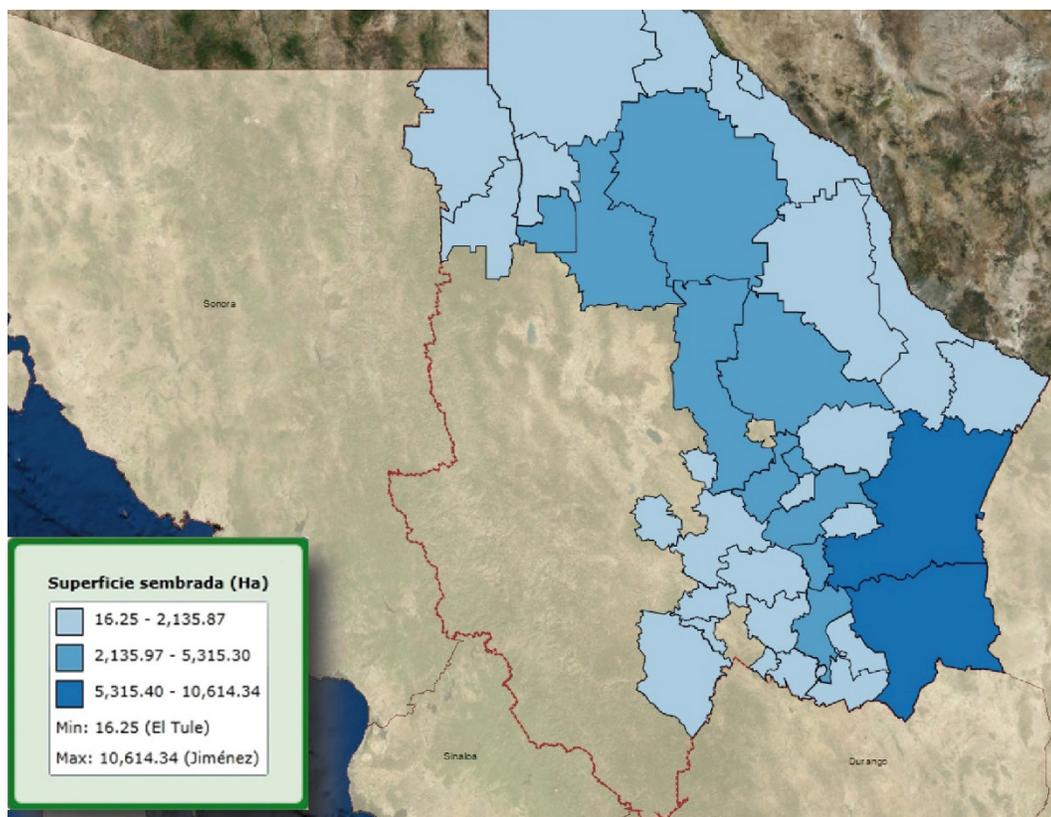


Figura 1-6 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Chihuahua para el año 2014.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Imagen elaborada en la aplicación web mapas dinámicos del SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>

El segundo estado con mayor área sembrada en 2014 fue el de Coahuila con el 15 % de las 108,011 Ha sembradas a nivel nacional. Los municipios con mayor área sembrada fueron San Pedro, Parras, Zaragoza y Morelos que juntos sumaron el 50 % del total del área sembrada y el 49 % del total de la producción a nivel estatal (SIAP-SAGARPA, 2015) (Ver Figura 1-7).

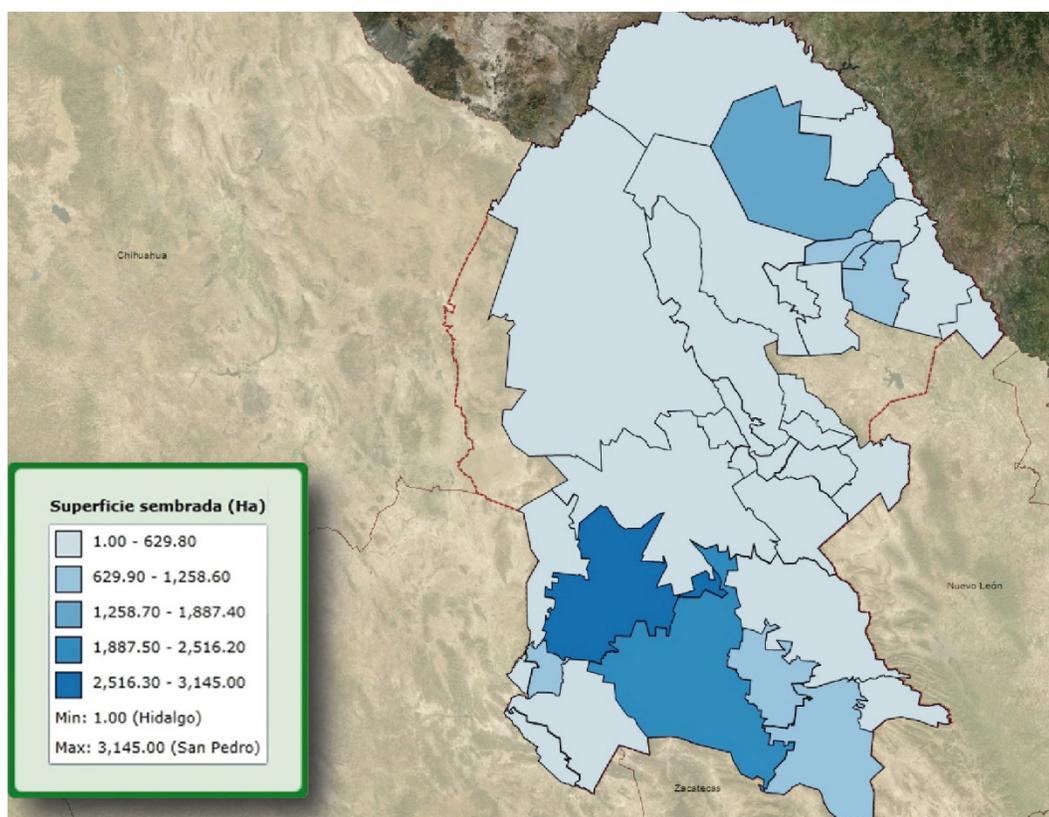


Figura 1-7 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Coahuila para el año 2014.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Imagen elaborada en la aplicación web mapas dinámicos del SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>

El tercer estado con mayor área sembrada en México para el año 2014 fue el de Sonora con el 11 % del total sembrado a nivel nacional, donde un solo municipio, Hermosillo, concentró el 59 % de las 12,164 Ha, convirtiéndose en el cuarto municipio a nivel nacional con mayor área sembrada con sus 7,228 Ha y el tercero a nivel nacional con mayor producción con sus 11,056 Ton (SIAP-SAGARPA, 2015) (Ver Figura 1-8).

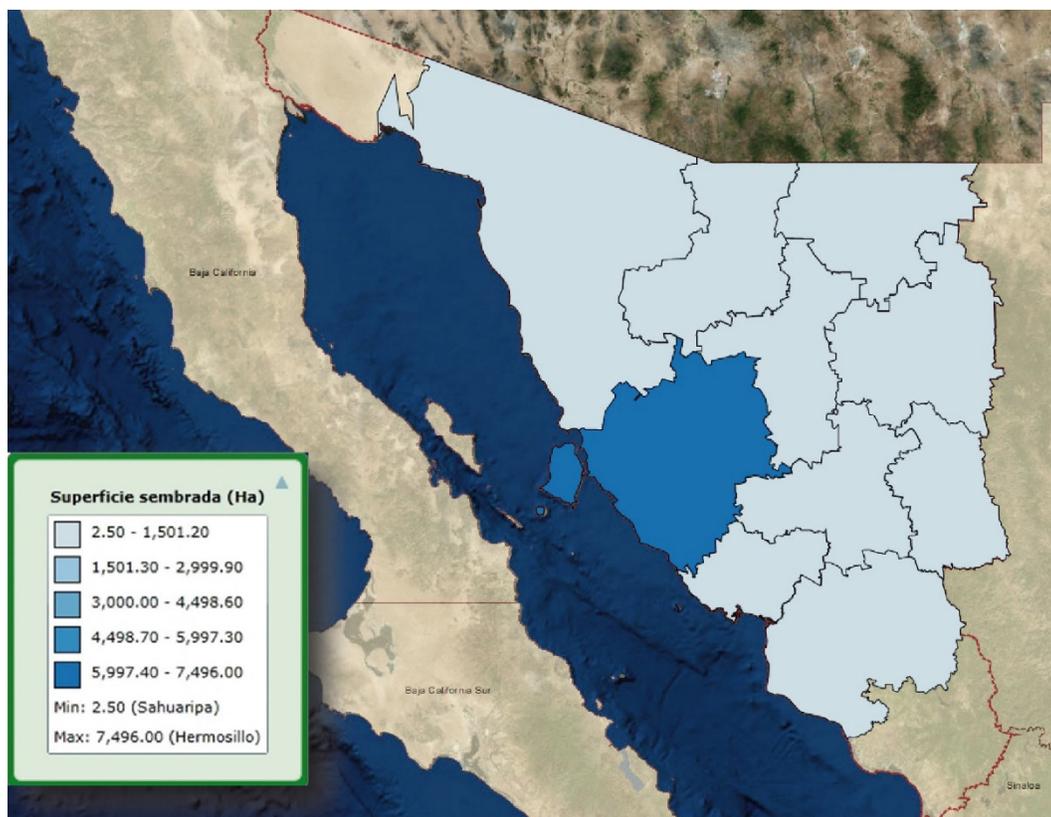


Figura 1-8 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Sonora para el año 2014.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Imagen elaborada en la aplicación web mapas dinámicos del SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>

El estado de Durango con el 6 % del total del área sembrada a nivel nacional es el cuarto estado con mayor área sembrada con nogal pecanero. Los municipios con mayor área sembrada en el estado de Durango son Nazas, Durango y Gómez Palacio, que concentran 61 % del total del área sembrada y el 62 % del total de la producción a nivel estatal (SIAP-SAGARPA, 2015) (Ver Figura 1-9).

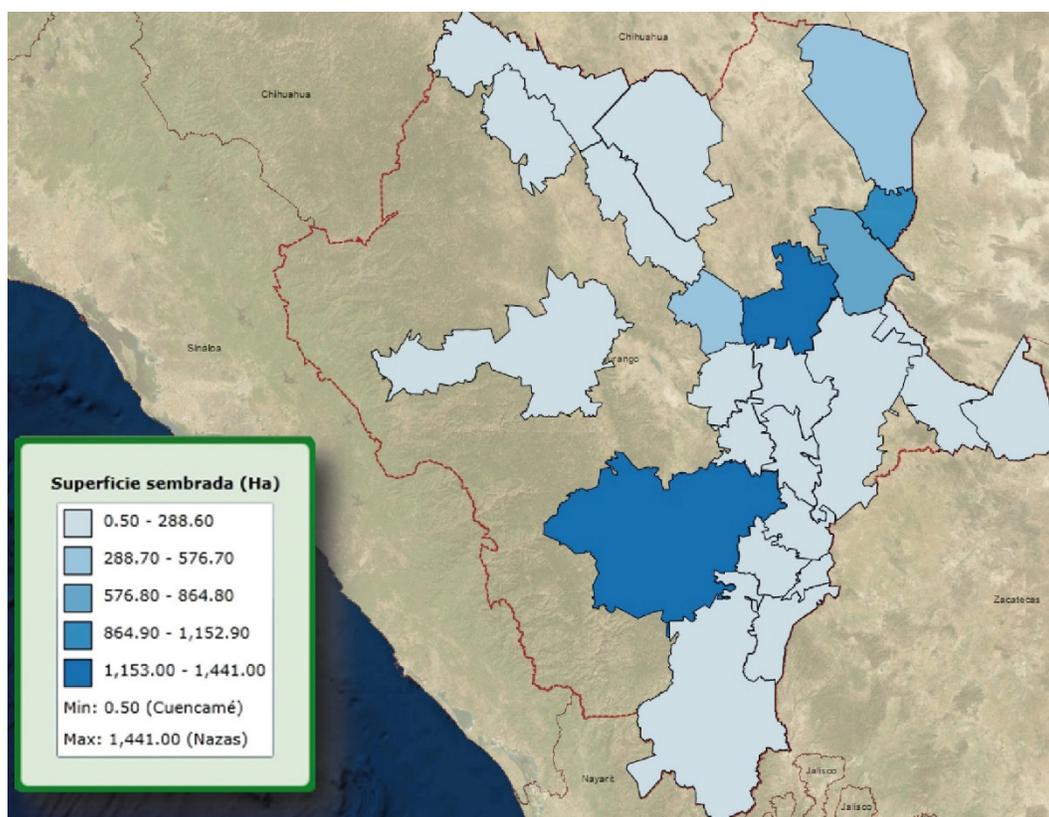


Figura 1-9 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nopal pecanero en el estado de Durango para el año 2014.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Imagen elaborada en la aplicación web mapas dinámicos del SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>

El estado de Nuevo León es el quinto estado con mayor área sembrada con nogal pecanero, con el 4 % del total del área sembrada a nivel nacional. Los municipios de Rayones, Bustamante y General Terán concentran el 57 % del total del área sembrada y el 54 % del total de la producción a nivel estatal (SIAP-SAGARPA, 2015) (Ver Figura 1-10).

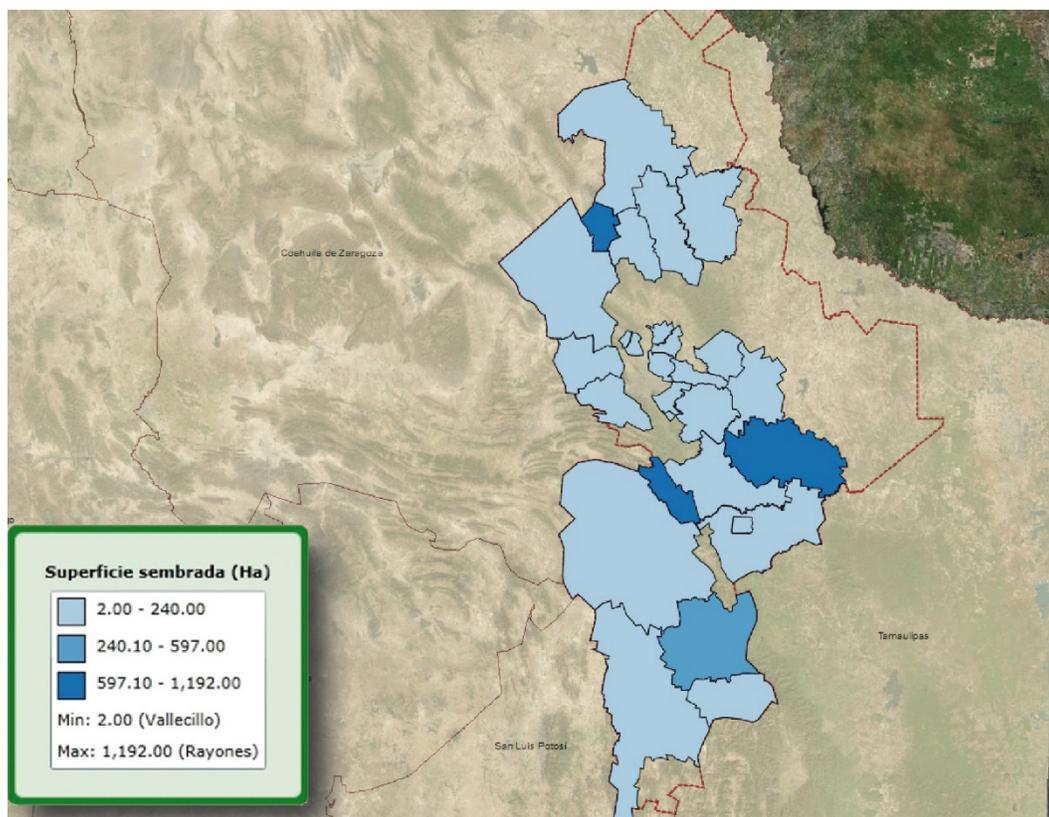


Figura 1-10 Distribución por municipio de la superficie sembrada con Nogal pecanero en el estado de Nuevo León para el año 2014.

Elaborada con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/identidad/index.jsp. Imagen elaborada en la aplicación web mapas dinámicos del SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/informacion-geoespacial-32571>

El rápido aumento del área sembrada con nogal pecanero en México se ha traducido en un incremento sostenido de la producción de nuez pecanera desde 1989, con el cual se ha logrado igualar el volumen de producción de los Estados Unidos, la cual no ha experimentado un incremento importante desde 1981, y en los dos últimos años incluso superarlo (Ver Figura 1-11). El año 2014 se registró la mayor producción de nuez pecanera en la historia de México con un total de 125,758 toneladas y con un valor de \$6,173'538,000 de pesos, la producción se concentró en un 96% en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León, con 61, 15, 11, 6 y 4 % del área sembrada respectivamente, y con 64, 12, 11, 5 y 4 % del volumen total de la producción respectivamente (SIAP, 2016).

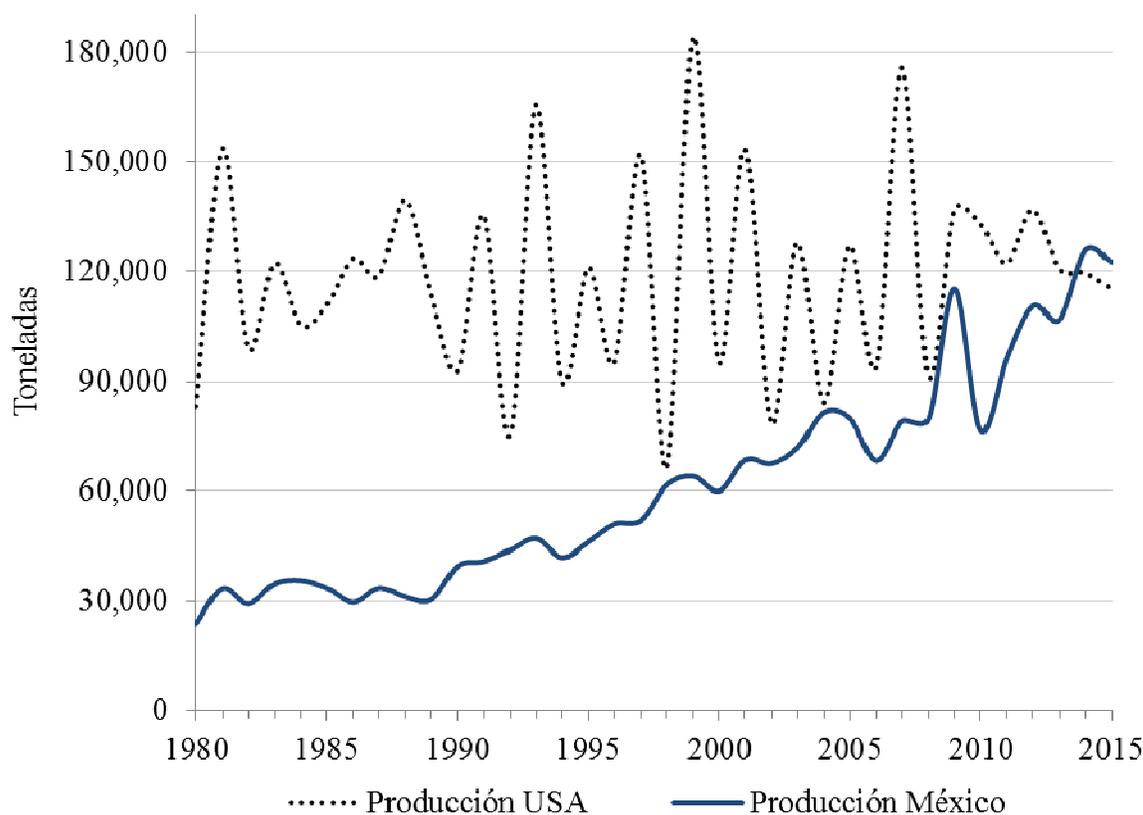


Figura 1-11 Comparativo del volumen de producción en toneladas de nuez pecanera en el periodo 1980 a 2015, entre Estados Unidos (USA) y México.

Elaborado con información de “Anuario estadístico de la producción agrícola,” del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2016, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp. Y “Pecan report,” del Agricultural Marketing Service, 2015, (XXXII), 24. Copyright 2015 de la USDA

Comercio exterior de la nuez pecanera

El alto volumen actual de producción de nuez pecanera en México responde al aumento de la demanda internacional. Del volumen total producido en México las tres cuartas partes se exportan, en más de un 90% a los Estados Unidos. De acuerdo con la Secretaría de Economía, para el año 2015 se exportaron 34,904 toneladas sin cáscara (fracción arancelaria 08023201) y 30,240 toneladas con cáscara (fracción arancelaria 08023101), equivalentes a tres cuartas partes

de la producción nacional. La información disponible en el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) de la Secretaría de Economía de México muestra para el año 2015 un aumento en la actividad exportadora de 4.4 veces para nuez sin cáscara y de 1.3 veces con cáscara con relación al año 2003 (Ver Figura 1-12). Los volúmenes de exportación han mantenido una tendencia mayor al de las importaciones, siendo en los últimos tres años mayores en dos veces y media (Secretaría-Economía, 2015).

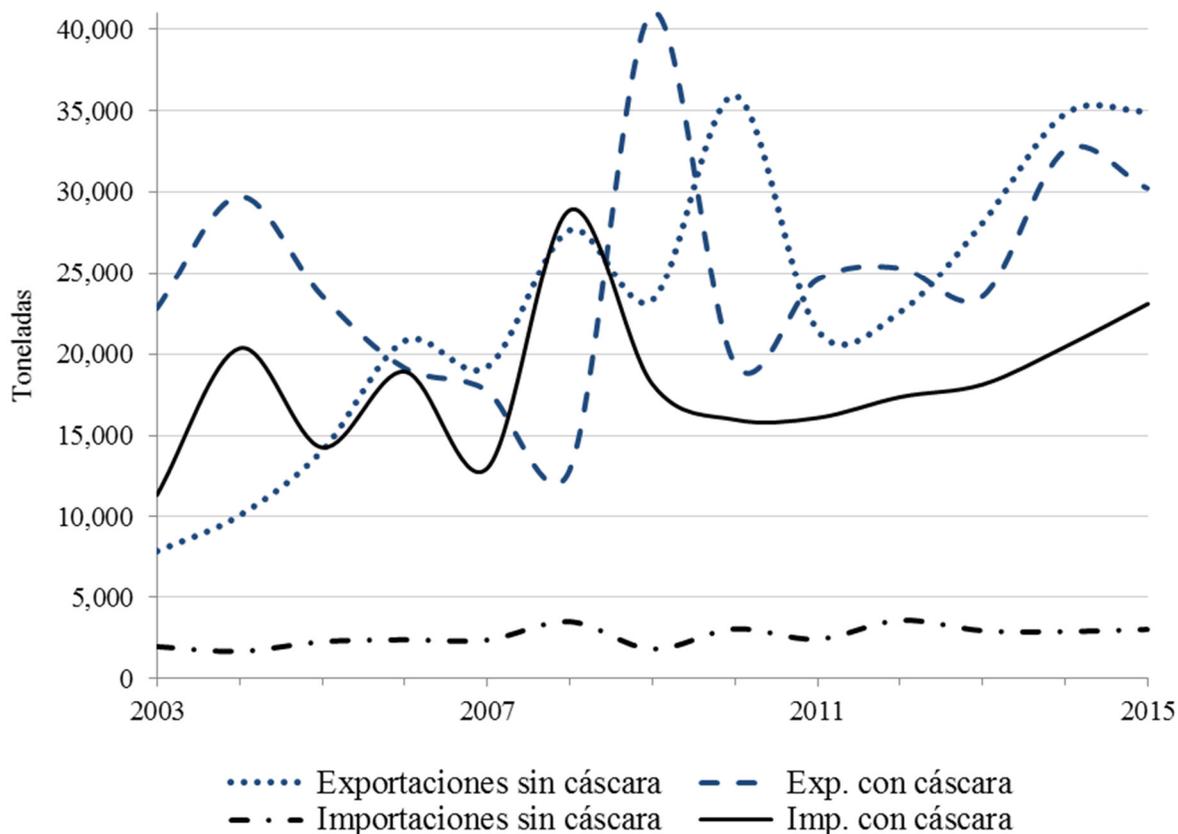


Figura 1-12 Comportamiento del volumen de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 2003 a 2015.

Elaborada con información de “Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI),” de la Secretaría de Economía de México, 2016, (<http://www.economia-snci.gob.mx/>).

Para el 2015 la balanza comercial internacional Mexicana de nuez pecanera fue positiva por US \$334 millones de dólares. Históricamente el mayor socio comercial en el mercado de nuez pecanera ha sido Estados Unidos de América, con US \$399 millones de dólares en exportaciones y US \$113 millones en importaciones hacia México para el año 2015. Los registros desde el año 2003 muestran una balanza comercial de exportación mayor en dos veces en valor al de las importaciones y a partir del 2009 tres veces mayor, lo anterior debido a una mayor exportación de nueces sin cáscara (Ver Figura 1-13) (Secretaría-Economía, 2015).

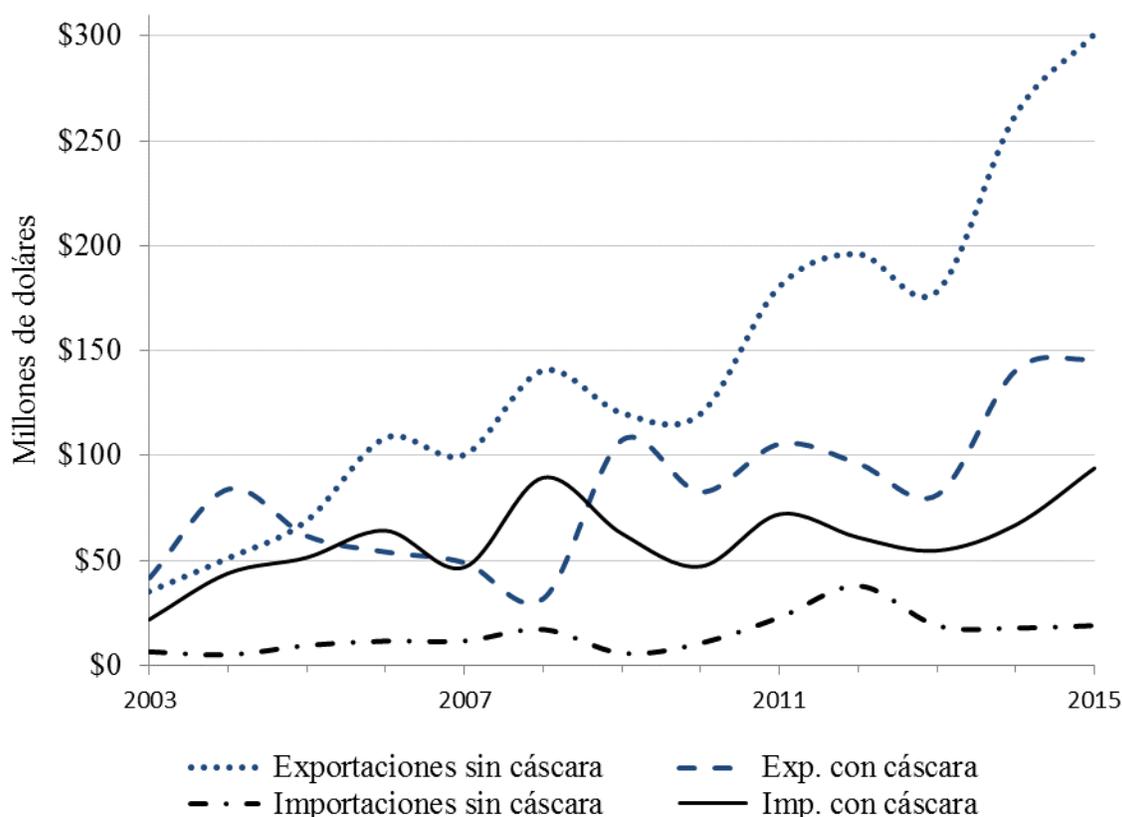


Figura 1-13 Comportamiento del valor de la balanza comercial internacional de nuez pecanera de México en el periodo 2003 a 2015.

Elaborada con información de “Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI),” de la Secretaría de Economía de México, 2016, (<http://www.economia-snci.gob.mx/>).

La amenaza del cambio climático para la producción de nuez pecanera

En la actualidad el mundo experimenta un cambio climático acelerado, el año 2015 registró el mayor incremento en temperatura superficial global (+1.13°C) en relación con el promedio 1880-1920 (Hansen, Sato, Ruedy, Schmidt, & Lo, 2016), es altamente probable que el calentamiento global observado sea consecuencia de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero desde la era preindustrial que han generado una alta concentración atmosférica de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (IPCC, 2014). Para Agosto del 2016 la concentración promedio de CO₂ en la atmosfera a nivel global superó por primera vez en la historia las 400 partes por millón de acuerdo con la división de monitoreo global de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de USA (NOAA por sus siglas en Inglés <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global>).

Aunque las contribuciones pasadas y futuras de emisiones de gases efecto invernadero sean diferentes entre los países el cambio climático tiene efectos globales que se extienden más allá de cualquier frontera política. En México ya son evidentes los efectos ambientales, entre ellos el incremento de la temperatura media anual, de hasta 0.6°C en promedio entre 1971 y 2008; la elevación del nivel medio del mar de entre 1.8 y 9.2 mm entre los años cincuenta y el año 2000 en la costa del Golfo de México; ocurrencia de severas sequías, la peor de ellas en el año 2011 que afectó 22 entidades y 604 municipios; eventos hidrometeorológicos extremos, las inundaciones ocurridas entre 2001 y 2010 afectaron a 13.4 millones de habitantes con daños calculados en cerca de 237 mil millones de pesos (SEMARNAT, 2014c). Estos cambios drásticos y rápidos del clima promueven un aumento en la intensidad, frecuencia y extensión de los estreses abióticos, que amenazan los rendimientos de las cosechas, el medio ambiente y el bienestar socioeconómico.

Desde el punto de vista fisiológico se espera que una mayor concentración de CO₂ en la atmósfera junto con un incremento en la temperatura estimule la fotosíntesis y por tanto el crecimiento vegetal, sin embargo, esa respuesta es dependiente de la especie y podría no ser significativa ante el suministro deficiente de otros recursos, como por ejemplo nutrientes. La ubicación geográfica de las especies también es determinante, el incremento en la temperatura y estaciones de crecimiento más largas tiene un efecto positivo en aquellas especies ubicadas hacia el límite más frío o más polar en comparación con aquellas ubicadas en el límite más caliente o ecuatorial (Reich, Sendall, Rice, Rich, & Stefanski, 2015).

Proyección de la magnitud del cambio climático en México

Proyección de cambios en la temperatura en México.

En México se creó, en el año 2012, la Red Mexicana de Modelación del Clima, coordinada por el INECC, encargada de realizar los análisis de prospectiva sectorial y de colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas e instrumentos relacionados con cambio climático. La red generó proyecciones de los escenarios más actualizados de cambio climático para México, a futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099), basadas en tres trayectorias de concentración representativas de CO₂ (RCP por sus siglas en Inglés). Dichas trayectorias incluyen dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0), y uno con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5), considerando un escenario base de 1961-2000 (Cavazos et al., 2013).

Las proyecciones de cambios en la temperatura elaboradas por la Red Mexicana de Modelación del Clima, prevén aumentos de 1.0 a 2.0°C y de 2.5 a 3.5°C, en el futuro cercano y lejano respectivamente, en un escenario intermedio de emisiones de CO₂ (RCP4,5) en la región norte de la República donde en la actualidad hay importantes áreas de plantaciones de nogal pecanero (Ver Figura 1-14).

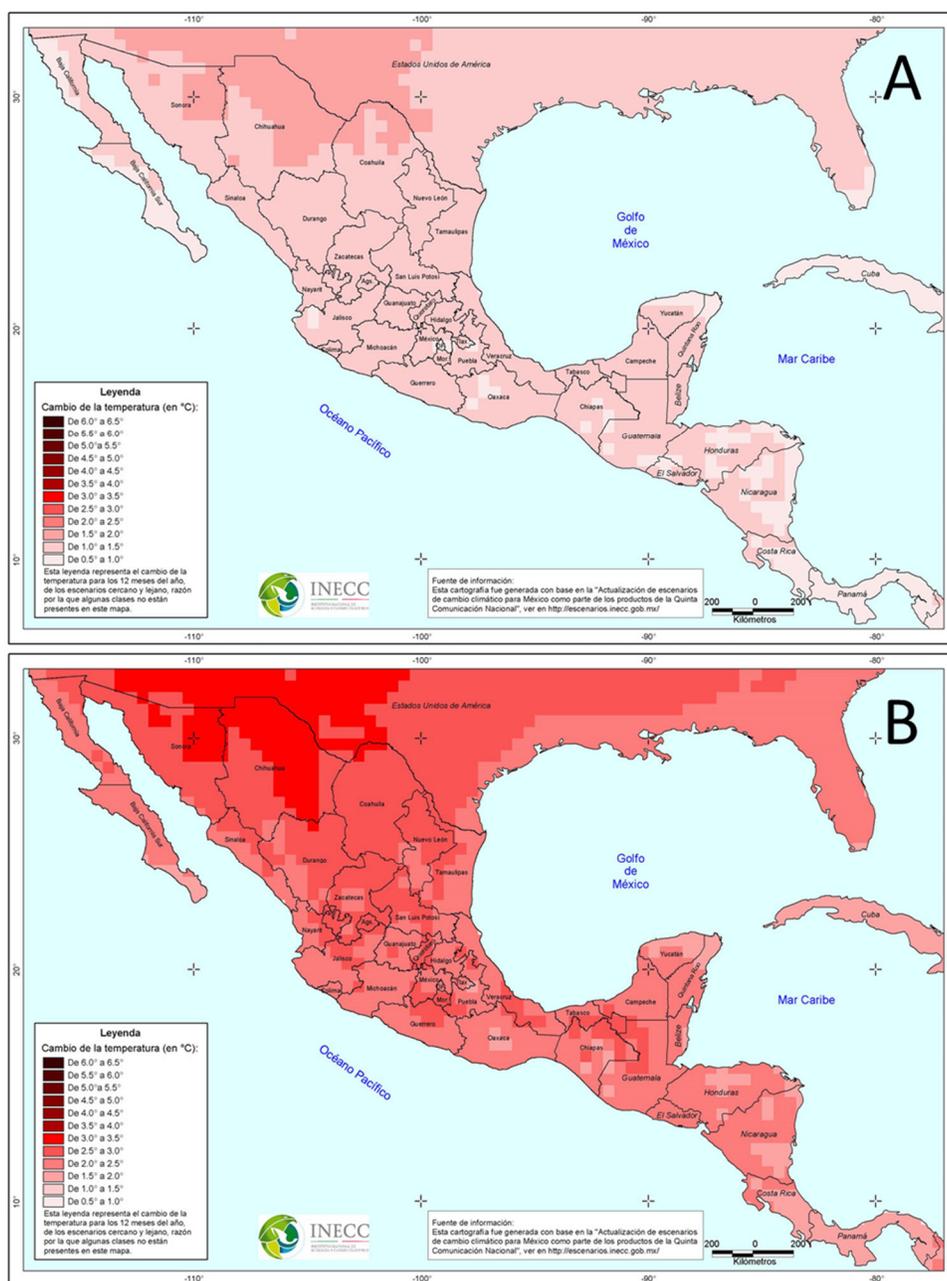


Figura 1-14 Proyección de cambio en la temperatura promedio anual en México en un escenario intermedio de emisiones de CO₂ (RCP4,5), en un futuro cercano (A) y futuro lejano (B). Imagen tomada de “Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional,” de Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De-Grau, P., Prieto-González, R., ... Bravo, M. E., 2013, Red Mexicana de Modelación del Clima. Copyright 2013 del INECC.

Para esta misma región ante un escenario muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5) proyecta un aumento de temperaturas en la región norte de la República de 1.0 a 2.0°C y de 4.0 a 5.5°C, en el futuro cercano y lejano respectivamente (Ver Figura 1-15).

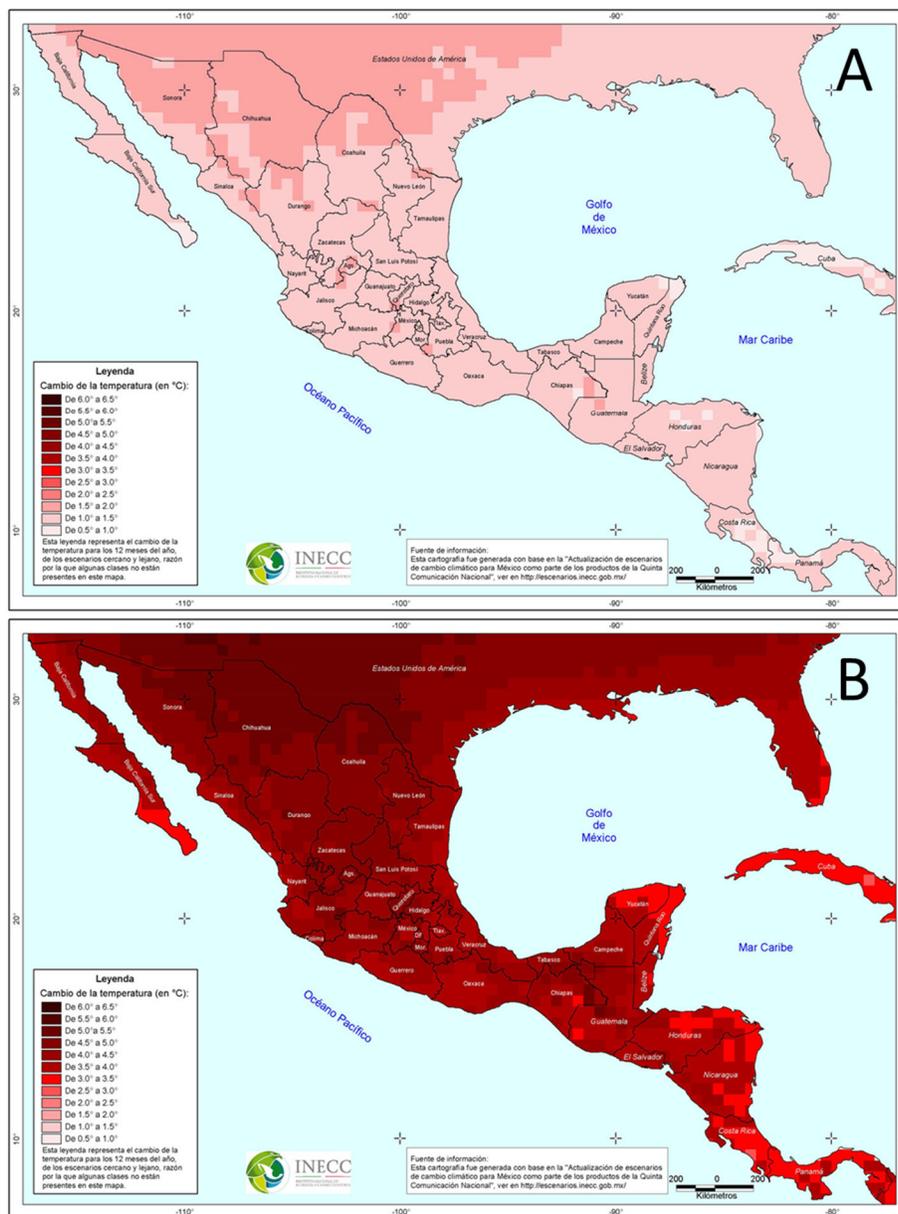


Figura 1-15 Proyección de cambio en la temperatura promedio anual en México en un escenario muy alto de emisiones de CO₂ (RCP8,5), en un futuro cercano (A) y futuro lejano (B). Imagen tomada de “Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional,” de Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De-Grau, P., Prieto-González, R., ... Bravo, M. E., 2013, Red Mexicana de Modelación del Clima. Copyright 2013 del INECC.

Otras proyecciones del cambio en la temperatura en México basadas en un escenario de emisiones antropógenas netas de CO₂ medio-alto (escenario clasificado como A2), coinciden en la estimación de los aumentos sostenidos de la temperatura en todo el territorio nacional con una distribución heterogénea, presentándose el menor de los cambios en la península de Yucatán con una magnitud de hasta 2.3 °C para el año 2090 y los mayores cambios en la región Noroeste donde la temperatura promedio puede aumentar hasta 6.0 °C para el 2090 en extensas zonas de los estados de Sonora, Chihuahua y Durango (Ver Figura 1-16). Lo cual genera un desfase significativo entre los recursos naturales y los climas para los que están adaptados (Sáenz-Romero et al., 2010)..

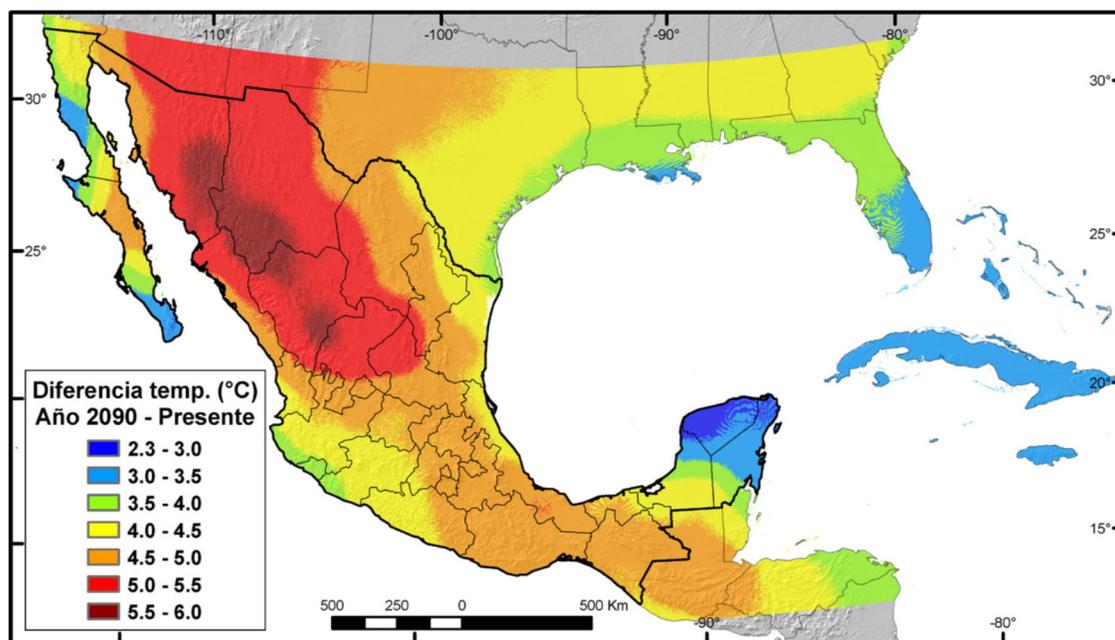


Figura 1-16 Proyección de diferencias en la temperatura media anual en México entre el clima contemporáneo (promedio 1960-1990) y el 2090 bajo un en escenario de emisiones medio-alto (A2).

Imagen tomada de "Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático," de Sáenz-Romero, Cuauhtémoc, 2014, Copyright 2014 de la CONAFOR.

Proyección de cambios en las precipitaciones en México

Las proyecciones de cambio climático a nivel nacional elaboradas por la Red Mexicana de Modelación del Clima, cuya real magnitud dependerá de las tasas de emisión de gases efecto invernadero, estiman una disminución en las precipitaciones en la región norte de la República donde en la actualidad hay importantes áreas de plantaciones de nogal pecanero entre 10 a 20 % en el futuro cercano y lejano, ante un escenario intermedio de emisiones de CO₂ (RCP4,5) (Ver Figura 1-17) y uno muy alto de emisiones de CO₂ (RCP8,5) (Ver Figura 1-18).

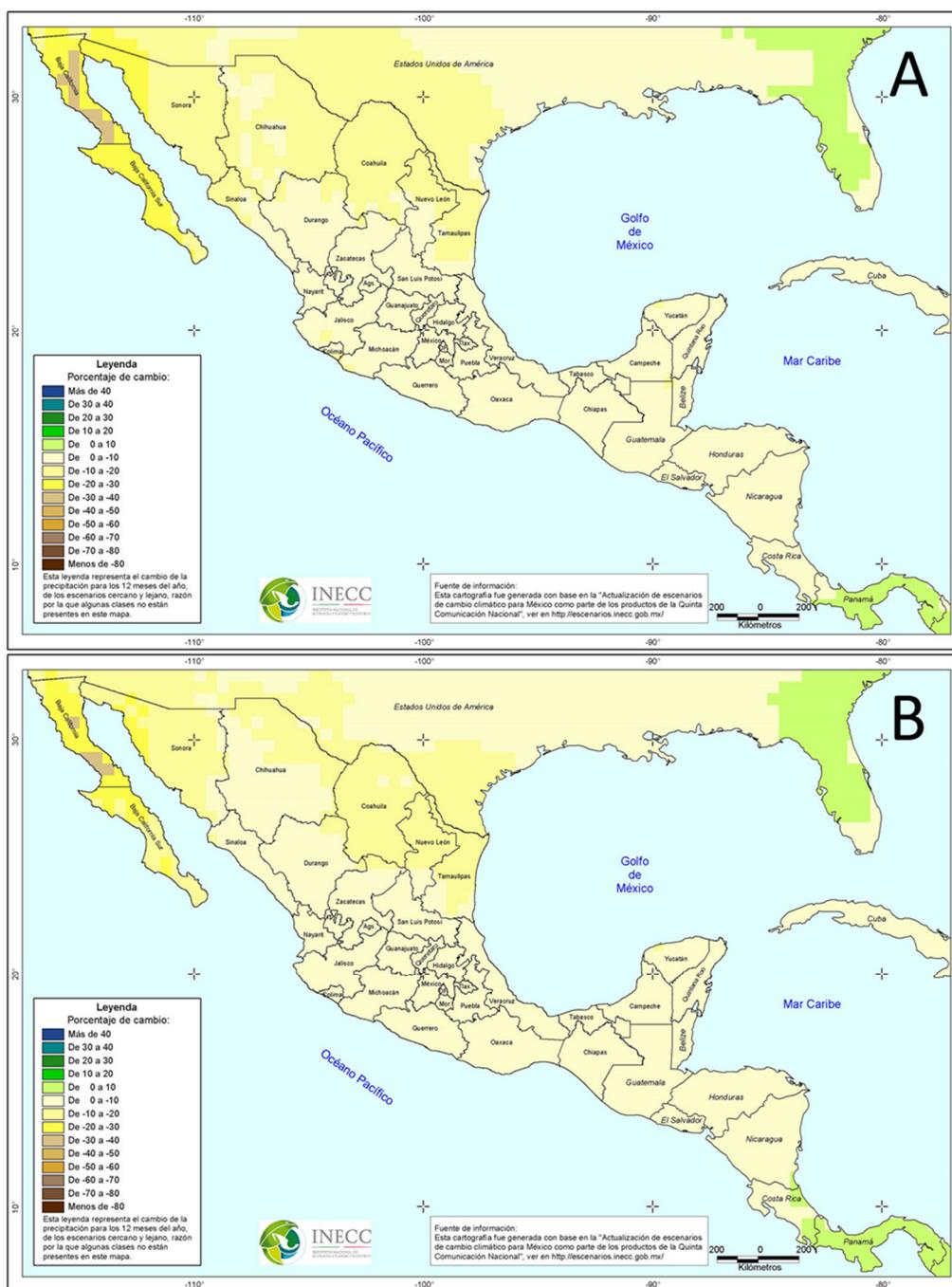


Figura 1-17 Proyección de porcentaje de cambio en precipitación promedio anual en México en un escenario intermedio de emisiones de CO₂ (RCP4,5), en un futuro cercano (A) y lejano (B). Imagen tomada de “Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional,” de Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De-Grau, P., Prieto-González, R., ... Bravo, M. E., 2013, Red Mexicana de Modelación del Clima. Copyright 2013 del INECC.

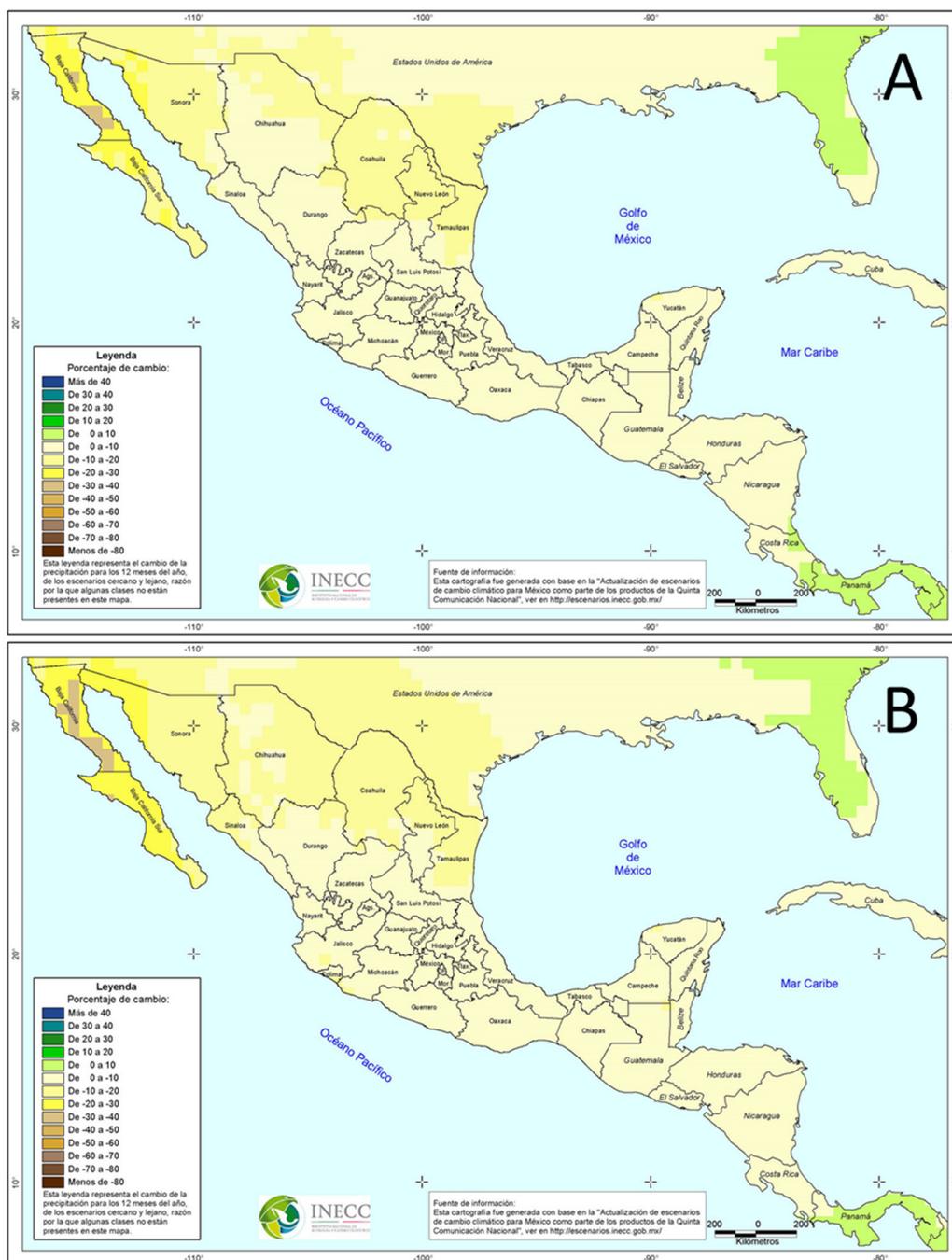


Figura 1-18 Proyección de porcentaje de cambio en precipitación promedio anual en México en un escenario muy alto de emisiones de CO₂ (RCP8,5), en un futuro cercano (A) y lejano (B). Imagen tomada de “Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional,” de Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De-Grau, P., Prieto-González, R., ... Bravo, M. E., 2013, Red Mexicana de Modelación del Clima. Copyright 2013 del INECC.

Reducciones similares en las precipitaciones han sido observadas en diferentes proyecciones, donde las principales reducciones de las precipitaciones se dan en las vertientes interiores de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental (Saenz-Romero, 2014).

La combinación del aumento de la temperatura y disminución de la precipitación provocará una expansión significativa de las zonas de clima árido o semiárido y una reducción de las áreas con climas cálido-húmedo o templado y frío-húmedo a nivel nacional. Este rápido aumento de la aridez se traducirá en una seria amenaza para la biodiversidad natural, así como para la producción agrícola, pecuaria y forestal nacional.

Amenazas abióticas al cultivo de nuez pecanera en México

Los nogales pecaneros como las demás plantas están constantemente expuestos a condiciones externas que, dependiendo de su intensidad y duración, pueden inhibir su crecimiento, desarrollo y reproducción. A estas condiciones que limitan la expresión del potencial de rendimiento genético se les define como estrés y varían dependiendo de la susceptibilidad de cada especie (Jones & Jones, 1989). La respuesta de las plantas para responder a las condiciones de estrés generalmente implican un consumo energético que busca garantizar principalmente la supervivencia de la planta pero que puede afectar negativamente el rendimiento (Mitra, 2001). Las condiciones de estrés pueden tener un efecto significativo en el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas. Estas condiciones pueden determinar la distribución geográfica de las especies, al generar una presión selectiva en la evolución de una población determinada (Doroszuk, Wojewodzic, & Kammenga, 2006).

La producción del nogal pecanero inicia a partir del sexto año y puede continuar hasta por 200 años, su rendimiento aumenta con el tiempo al pasar de entre 9 a 27 Kg por árbol a los 8-10 años hasta 45 a 68 Kg a los 16 años, incluso se tiene registro de individuos excepcionales que han alcanzado los 360 Kg (Rosengarten Jr, 1984). Sin embargo, el rendimiento no solo está en función de la edad del árbol sino de las condiciones bióticas y abióticas a las que está expuesto, en la actualidad los productores de nuez pecanera enfrentan diferentes amenazas, una de los principales estreses abióticos que enfrentan es la disponibilidad de agua para riego. El riego constituye hasta una tercera parte de los costos de producción de nuez pecanera (Ver Figura 1-19).

Amenaza de estrés osmótico en la producción

Para la producción a escala comercial de nueces pecaneras las plantaciones de nogal pecanero requieren garantizar un alto suministro de agua, se ha estimado que las plantaciones de nogal pecanero están entre los cultivos que más agua de riego requiere, al menos más que cualquier otro cultivo en el Sur-Oeste de los Estados Unidos donde entre 2001 y 2002 este cultivo registró una evapotranspiración acumulada de 1,420 mm, con un máximo de evapotranspiración diario de 8 mm (Sammis, Mexal, & Miller, 2004).

Capítulo	Costos			jornales	Desglose mensual de los costos financieros											
	Financiable	No financ.	Total		ene.-2016	feb.2016	mar.-2016	abr.-2016	may.-2016	jun.-2016	jul.-2016	ago.-2016	sep.-2016	oct.-2016	nov.-2016	dic.-2016
PREPARACIÓN DEL TERRENO	\$205	\$591	\$796	1.00	\$205	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
FERTILIZACIÓN	\$12,151	\$1,244	\$13,395	2.75	\$0	\$1,599	\$0	\$1,778	\$2,740	\$4,257	\$1,778	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
LABORES CULTURALES	\$5,697	\$1,595	\$7,292	33.50	\$4,500	\$0	\$171	\$171	\$171	\$171	\$0	\$171	\$171	\$0	\$171	\$0
RIEGOS	\$12,163	\$9,070	\$21,233	5.00	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$1,216	\$0	\$0
CONTROL DE PLAGAS, MALEZAS Y ENFERM	\$869	\$335	\$1,205	0.75	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$331	\$324	\$214	\$0	\$0	\$0	\$0
COSECHA, SELECCIÓN Y EMPAQUE	\$102	\$11,320	\$11,422	0.50	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$102	\$0	\$0
DIVERSOS	\$4,000	\$0	\$4,000	0.00	\$0	\$0	\$0	\$2,200	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1,800	\$0	\$0	\$0
Total:	\$35,187	\$24,155	\$59,342	43.50	\$5,921	\$2,815	\$1,387	\$5,365	\$4,127	\$5,976	\$3,318	\$1,602	\$3,187	\$1,318	\$171	\$0

Figura 1-19 Resumen de costos de producción de nuez pecanera en el estado de Coahuila para el año 2016 usando riego por aspersión.

Imagen tomada de “Agrocostos de Perennes,” de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura "FIRA", 2016 <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>. Copyright 2016 del FIRA.

En regiones como Hermosillo, Sonora la estimación anual del requerimiento hídrico de nogal pecanero puede alcanzar hasta 2,091 mm, un elevado valor debido al efecto combinado de una alta evapotranspiración y periodo de crecimiento extenso, de hasta 277 días, por la cercanía al nivel del mar de Hermosillo, 61 msnm (Brown, 2010).

La calidad de las nueces disminuye cuando los árboles son sometidos a estrés hídrico durante la fase de llenado de la nuez (Herrera, 1988), razón por la cual es importante garantizar el riego de la plantación durante todo el cultivo, en especial durante la fase de llenado de la nuez durante Agosto y Septiembre con el fin de maximizar el rendimiento, la calidad y la rentabilidad (Sammis et al., 2004). Por esta razón para las plantaciones sin uso de sistemas de riego se suelen utilizar cultivares que produzcan nueces pequeñas, alrededor de 140/Kg (Upson, Rohla, Locke, & Springer, 2012).

Debido a la alta demanda de agua de las plantaciones de nogal pecanero y a una disponibilidad limitada del recurso la selección de un sistema de riego eficiente es crítica. El sistema por inundación tiene un bajo costo inicial pero una baja eficiencia, además sólo es viable en terrenos con pendiente uniforme, en cambio el sistema por micro-riego tiene una alta eficiencia en aplicación pero tiene un alto costo inicial, no es portátil y requiere de agua libre de sales. Igualmente importante es la programación de la aplicación del riego, para ahorrar agua y dinero, evitar lixiviación de nutrientes y mejorar la calidad de las nueces (Upson et al., 2012).

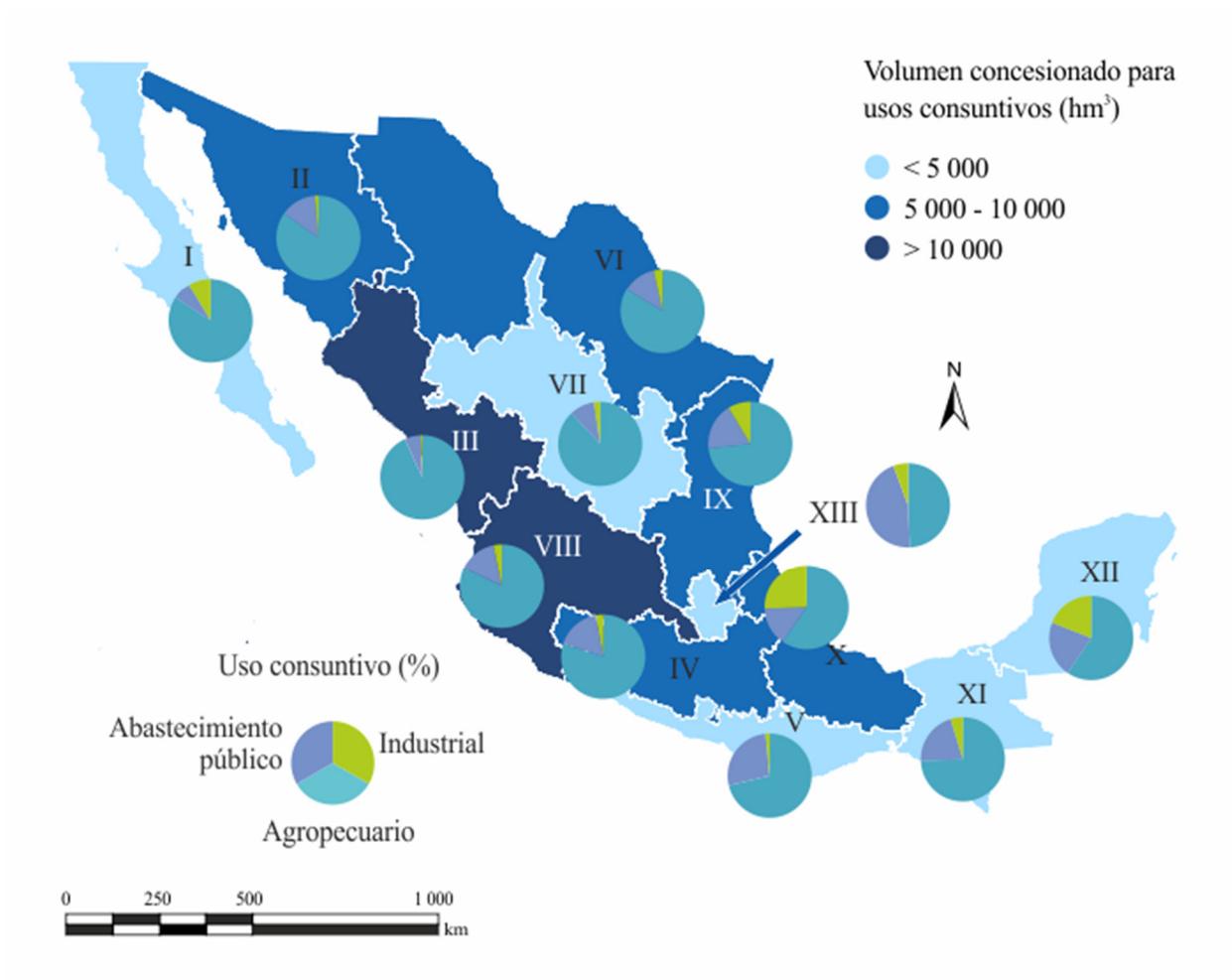
Si bien la eficiencia en el uso del agua en el cultivo de nogal pecanero es considerada baja, el valor comercial de la nuez pecanera es alto por lo que el retorno económico por unidad de agua aplicada es mayor en comparación con otros cultivos lo que ha motivado un uso cada

vez mayor de sistemas de riego (Sammis et al., 2004), por ejemplo en el estado de Coahuila, el segundo con mayor producción de nuez pecanera en 2014, para el 2007 el 87% de las huertas del norte del estado, con el 32% del área sembrada con nogal en Coahuila, contaban con sistemas de riego en su mayoría por microaspersión (Orona-Castillo, Sangerman-Jarquín, Fortis-Hernández, Vázquez-Vázquez, & Gallegos-Robles, 2013).

La disponibilidad de agua superficial y subterránea es un factor de riesgo importante para el sector agrícola en general y en particular para la producción de nuez pecanera donde se calcula que hasta el 36 % del costo total de producción tiene que ver con el riego. Para el año 2014 México registraba un total de 84,929 millones de metros cúbicos de agua concesionados para diferentes usos consuntivos (Abastecimiento público, Agrícola, Industria, Energía eléctrica), siendo el agrícola el de mayor uso con 77 % del total (CONAGUA, 2015). En las regiones hidrológicas-administrativas donde se encuentran las mayores plantaciones de Nogal pecanero hasta el 80 % del agua concesionada se destina a uso agrícola (SEMARNAT, 2014a) (Ver Figura 1-20).

Para 2014 el 61.3 % del volumen total de agua concesionado para usos consuntivos fue de fuentes superficiales y el 38.7 % restante de fuentes subterráneas, todas ellas dependientes principalmente de las precipitaciones para su recarga (CONAGUA, 2015). En México las plantaciones más grandes y en continua expansión de nogal pecanero se encuentran ubicadas al norte del país, donde se registran las menores precipitaciones a nivel nacional (CONAGUA, 2014b) (Ver Figura 1-21), su producción depende enormemente de la utilización de agua de riego, de hecho a nivel nacional solo el 1.4 % del total de área sembrada con nogal pecanero corresponde a temporal, la gran mayoría cuentan con algún sistema de riego (SIAP, 2016).

En los dos municipios donde se produce el 21 % del total de nuez pecanera en México, Jiménez y Camargo en el estado de Chihuahua, la precipitación promedio anual entre el 2010 a 2014 estuvo entre 600 a 900mm (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/>), muy por debajo de la evapotranspiración promedio anual de la zona de 1,600 mm/m², calculada para los últimos tres años por el método de Penman-Monteith que considera la radiación solar, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento, (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/eto.aspx>), esto es casi el doble de la precipitación anual, lo cual pone de manifiesto la necesidad del uso de agua de riego para garantizar una producción rentable y a la vez resalta la vulnerabilidad de las plantaciones de nogal pecanero y de todo el sector agrícola de la zona.



Región hidrológico-administrativa:

I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Figura 1-20 Volumen concesionado por uso consuntivo por región hidrológico-administrativa, 2012.

Imagen tomada de “El medio ambiente en México 2013-2014,” de la SEMARNAT, 2014. Copyright 2014 de la SEMARNAT.

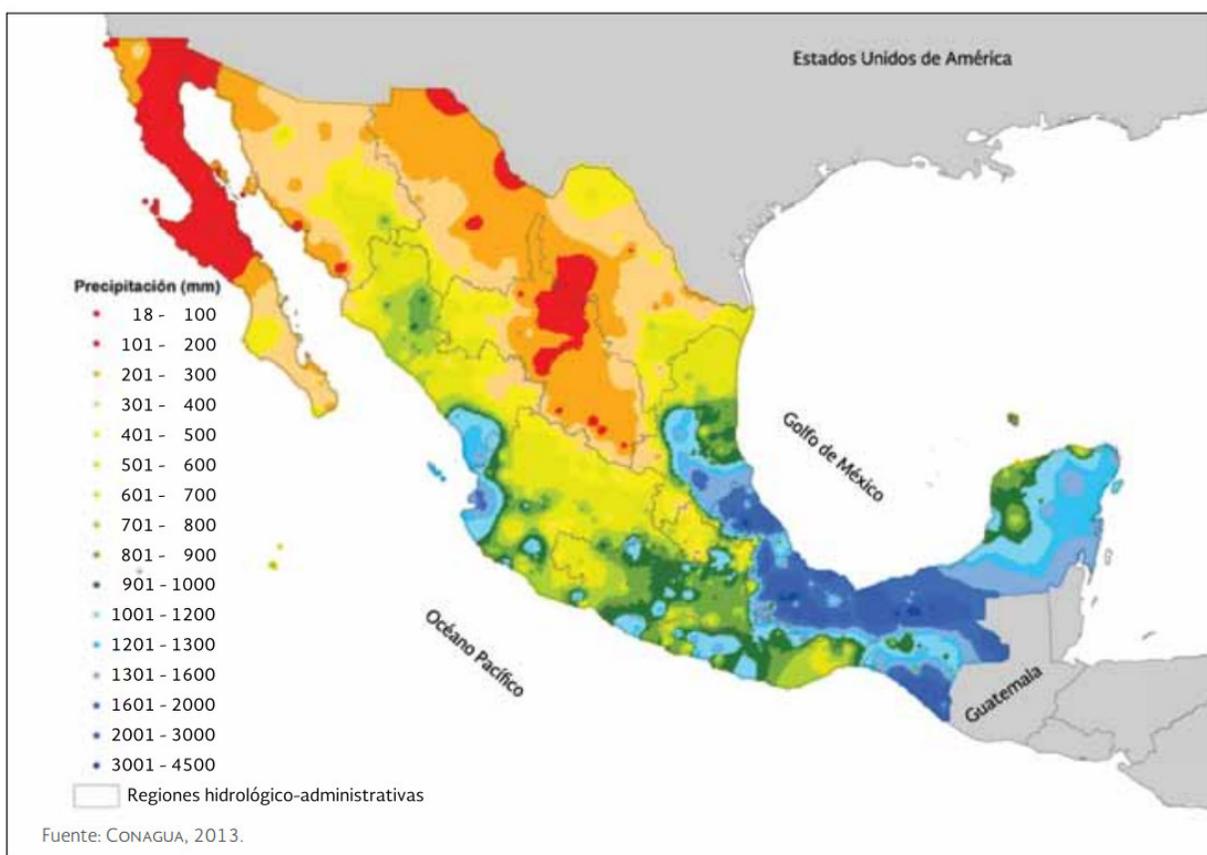


Figura 1-21 Distribución espacial de la precipitación media anual en México. Imagen tomada de “Programa Nacional Hídrico 2014-2018 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018,” del Gobierno de la República de los Estados Unidos Mexicanos, 2014. Copyright 2013 de CONAGUA.

En el Norte de México se presenta un alto grado de presión sobre el recurso hídrico, debido a la relación entre el alto volumen de agua concesionado vs el volumen renovado, lo cual ha generado que las autoridades declaren zonas de veda para la extracción de agua subterránea y superficial (CONAGUA, 2014a), esta disminución en la disponibilidad del recurso hídrico implica un riesgo para la producción de nuez pecanera, ya que los tres estados con el 88% del área sembrada de nogal pecanero y el 86% de la producción nacional, Chihuahua, Coahuila y Sonora (SIAP, 2016), coinciden con las zonas de alto grado de presión sobre el recurso hídrico, y veda para la extracción de agua subterránea y superficial. La alta demanda hídrica del nogal pecanero significa un alto grado de vulnerabilidad ante la ocurrencia de sequías de mayor intensidad y frecuencia, junto a una menor disponibilidad de recurso hídrico superficial y subterráneo,

En 2013 el 37% del volumen total de agua concesionado para los diferentes usos consuntivos provenía de 653 acuíferos, de los cuales 106 registraban sobreexplotación, siendo ellos de donde se extrae el 55% del total de agua subterránea (CONAGUA, 2012, 2014a), coincidiendo varios de los pozos sobreexplotados con municipios con plantaciones de nogal pecanero, en los estados de Chihuahua y Sonora (CONAGUA, 2015) (Ver Figura 1-22).



Figura 1-22 Condición de explotación de los acuíferos en México para el año 2014. Imagen tomada de “Atlas del Agua en México 2015,” de la CONAGUA, 2015. Copyright 2015 de la CONAGUA.

De las 731 cuencas hidrológicas (unidad de terreno definida por la división natural de las aguas debida a la conformación del relieve) del país, en el año 2014 alrededor de 104 cuencas presentaban disponibilidad negativa o en déficit. Varias de estas cuencas en déficit coinciden con aquellas donde crecen las mayores plantaciones de Nogal pecanero en los estados de Chihuahua, Coahuila y Sonora (CONAGUA, 2015) (Ver Figura 1-23), de seguir el incremento en la plantación de nogal estas tendrán que enfrentar la baja disponibilidad del recurso hídrico.



Figura 1-23 Cuencas hidrológicas en déficit en 2014.

Imagen tomada de “Atlas del Agua en México 2015,” de la CONAGUA, 2015. Copyright 2015 de la CONAGUA.

De acuerdo con el programa nacional hídrico 2014-2018, en la actualidad la situación de la mayoría de las cuencas es no sustentable debido al rápido crecimiento de la demanda hídrica, para el año 2030 se estima que la demanda superara los 91,200 millones de metros cúbicos, con una brecha hídrica negativa de 23,000 metros cúbicos entre la oferta y la demanda (CONAGUA, 2014b). Lo cual incrementará la tensión entre los diferentes usuarios y pone en riesgo el desarrollo de proyectos agrícolas con una alta demanda hídrica en zonas con alto grado de vulnerabilidad por el cambio climático, como lo es la zona norte de México.

Amenaza de estrés por temperatura en la producción

El rápido cambio climático mundial creará un desacoplamiento (desfasamiento) entre las plantas y el clima al cual se adaptaron a través de un largo proceso evolutivo (Rehfeldt, Crookston, Sáenz-Romero, & Campbell, 2012). Este desacoplamiento por el incremento gradual de la temperatura impondrá un estrés fisiológico en las plantas, que experimentarán con mayor rigor los individuos de las especies ubicados en el límite altitudinal inferior de su rango natural de distribución y en el límite más cercano a la línea ecuatorial de su distribución latitudinal. Este escenario constituye una amenaza para la producción de nuez pecanera en México por corresponder al límite Sur de su distribución latitudinal.

En la actualidad el fenómeno de inviernos con un tiempo insuficiente de frío por efecto del cambio climático amenaza la producción de alimentos a nivel mundial, al disminuir la velocidad y frecuencia de brotación de muchos cultivos (Atkinson, Brennan, & Jones, 2013), con una alta probabilidad de empeorar conforme no disminuye el cambio climático. En las especies arbóreas de climas templados el estado de dormancia, al que entran las yemas entre Octubre-Noviembre, se rompe o decrece por la suficiente exposición a temperaturas frías (≤ 5 °C), entre mayor sea la exposición mayor será la tasa de brotación de las yemas cuando sean expuestas a temperaturas cálidas (>5 °C) (Cannell & Smith, 1983).

En los estados del norte de México los inviernos son menores en intensidad y duración en comparación con regiones más septentrionales del hemisferio, por lo que el número de horas frío es menor, esta menor exposición de horas frío en árboles de climas templados, como la variedad de nogal Western Schley, se relaciona con brotaciones deficientes, floración irregular, foliación raquílica, poca ramificación y rendimiento por debajo del potencial (Grageda-Grageda et al., 2013).

Se estima que el menor número de horas frío al Norte de México puede ser responsable de la pérdida del potencial de brotación de la especie Western Schley, en un 50 a 90%, en el estado de Chihuahua y la costa de Hermosillo, respectivamente (Gardea, Orozco-Avitia, & Romo-Chacon, 2010), obligando a los agricultores a incurrir en mayores costos por la aplicación de promotores de brotación, como la cianamida hidrogenada la cual tiene efectos positivos en el crecimiento y el rendimiento aunque puede causar efectos secundarios aumentando el porcentaje de nuez germinada o viviparidad en precosecha.

Los climas cálidos y secos durante la maduración en otoño generados por el cambio climático promueven la viviparidad de la nuez pecanera, causando pérdidas económicas debido al deterioro de las propiedades organolépticas de la nuez, al generar un oscurecimiento y sabor amargo. Se estima que alrededor de la mitad del área sembrada con Nogal pecanero en México es susceptible de padecer este problema (Lagarda-Murrieta, 2012).

La zona geográfica de mayor producción de nuez pecanera a nivel nacional presenta adicionalmente el mayor peligro por sequías lo que aumenta la vulnerabilidad de las plantaciones de nogal pecanero y de todo el sector agrícola de la zona (SEMARNAT, 2014b) (Ver Figura 1-24). Recientes proyecciones de la ocurrencia de sequías en Norte América estiman condiciones de sequía significativas a finales del siglo XXI comparadas con el siglo XX y anteriores intervalos paleoclimáticos. El riesgo futuro de sequía podría exceder incluso las sequías más fuertes registradas de la era medieval (1,100 – 1,300 DC) incluso en un escenario moderado (RCP 4.5) de emisión de CO₂ (Cook, Ault, & Smerdon, 2015).

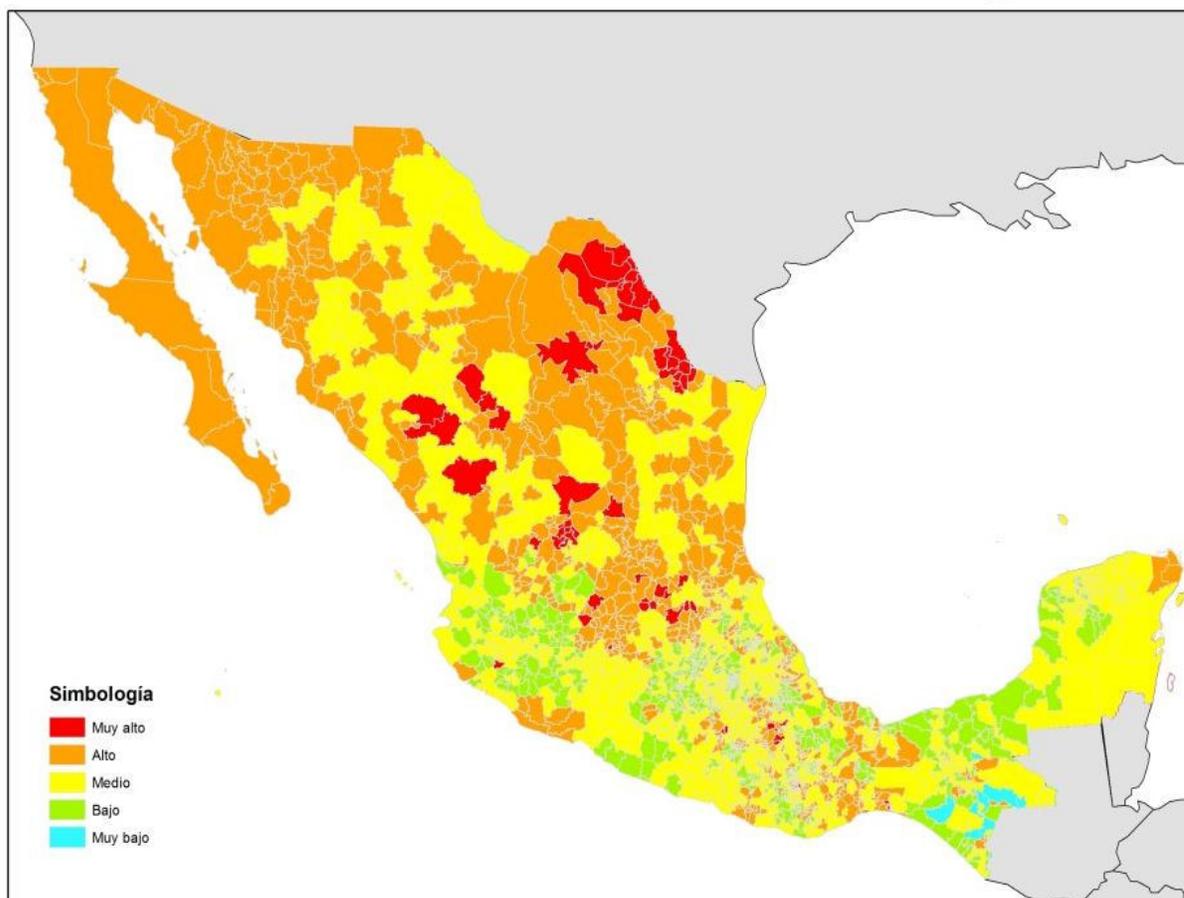


Figura 1-24 Distribución espacial del riesgo por sequía en México.

Imagen tomada de “Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018”, del Gobierno de la República de los Estados Unidos Mexicanos, 2014. Copyright 2014 del Gobierno de la República.

Amenaza de estrés por salinidad en la producción

Adicionalmente el riego con agua de acuíferos tiende a incrementar el contenido de sales en el suelo. Actualmente se estima que la salinidad afecta el 20 % de los suelos bajo riego a nivel mundial (Peleg, Apse, & Blumwald, 2011) y se proyecta que esta condición aumente al 50 % para el 2050 (Blumwald & Grover, 2006). La salinidad es responsable de reducciones en rendimiento de hasta un 50 % de la producción de los principales cultivos a nivel mundial (Munns, 2002), pudiendo llegar a afectar el rendimiento de las plantaciones de nogal pecanero y también la calidad nutritiva y sensorial de las nueces pecaneras.

En México para el año 2002 el proceso de salinización afectaba alrededor del 3.2% del territorio, principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas (SEMARNAT, 2013)

Pero no sólo la cantidad de agua es importante también lo es su calidad, el nogal pecanero es sensible a salinidad y a boro, por lo que la concentración de sales disueltas en el agua de riego debe estar por debajo de 1,200 partes por millón (ppm), y la concentración de boro en suelo por debajo de 1.0 ppm para evitar reducciones en el rendimiento (Upson et al., 2012).

En el estado Chihuahua, responsable de más del 60 % de la producción nacional de nuez pecanera, más del 60 % del agua subterránea, principal fuente de riego para las plantaciones de nogal, presentaba en el año 2005 mediano y alto grado de salinidad, 51 y 12 % respectivamente. Siendo las aguas de pozo profundo de los valles y planicies de los municipios de Jiménez, Camargo, Janos, y principalmente Villa Ahumada las que presentaban los grados más salinosódicos.

La aplicación de agua con alto contenido de sales provoca su continua acumulación en las capas superficiales del perfil del suelo, dificultando progresivamente la movilidad del agua hacia las raíces de los árboles al disminuir el potencial hídrico total del suelo. El mayor contenido de sales en el suelo también puede provocar un incremento del pH, alterando el potencial de asimilación de nutrientes por las plantas (Jasso-Ibarra, Chávez-Sánchez, Figueroa-Viramontes, Rivera-González, & Sabori-Palma, 2010). Estas dos situaciones impondrán un mayor costo en la producción al demandar una mayor cantidad de riego, así como de fertilizantes. Ítems que de por si en la actualidad corresponde a los mayores costos de producción con un 36 y 23 % respectivamente.

Amenazas bióticas al cultivo de nuez pecanera en México

Además de las amenazas abióticas los nogales pecaneros también tienen que enfrentar las amenazas bióticas provenientes de insectos, bacterias, hongos, virus y malezas que disminuyen su potencial productivo y supervivencia, reduciendo su rentabilidad para los productores.

Problemas fitosanitarios por bacterias en producción

Dentro de las principales bacterias patógenas de nogal pecanero esta *Xylella fastidiosa*, una bacteria gram-negativa que ocluye los tejidos vasculares del xilema ocasionando una disrupción en el transporte de agua y nutrientes, que reduce el rendimiento y puede ocasionar la muerte del árbol, *Xylella* es transmitida por insectos chupadores y también por injerto. La infección de esta bacteria es exacerbada por el estrés por sequía (McElrone, Sherald, & Forseth, 2003), siendo un ejemplo de un efecto indirecto del cambio climático. La presencia de esta bacteria en México en zonas con importantes áreas de plantaciones de nogal pecanero como los estados de Chihuahua y Sonora (Ver Figura 1-25) (SENASICA, 2013) implica un riesgo

fitosanitario presente y futuro para la producción de nuez pecanera, dada la susceptibilidad de algunas variedades que pueden disminuir hasta en un 16 % el peso de la nuez comestible (Melanson & Sanderlin, 2012).

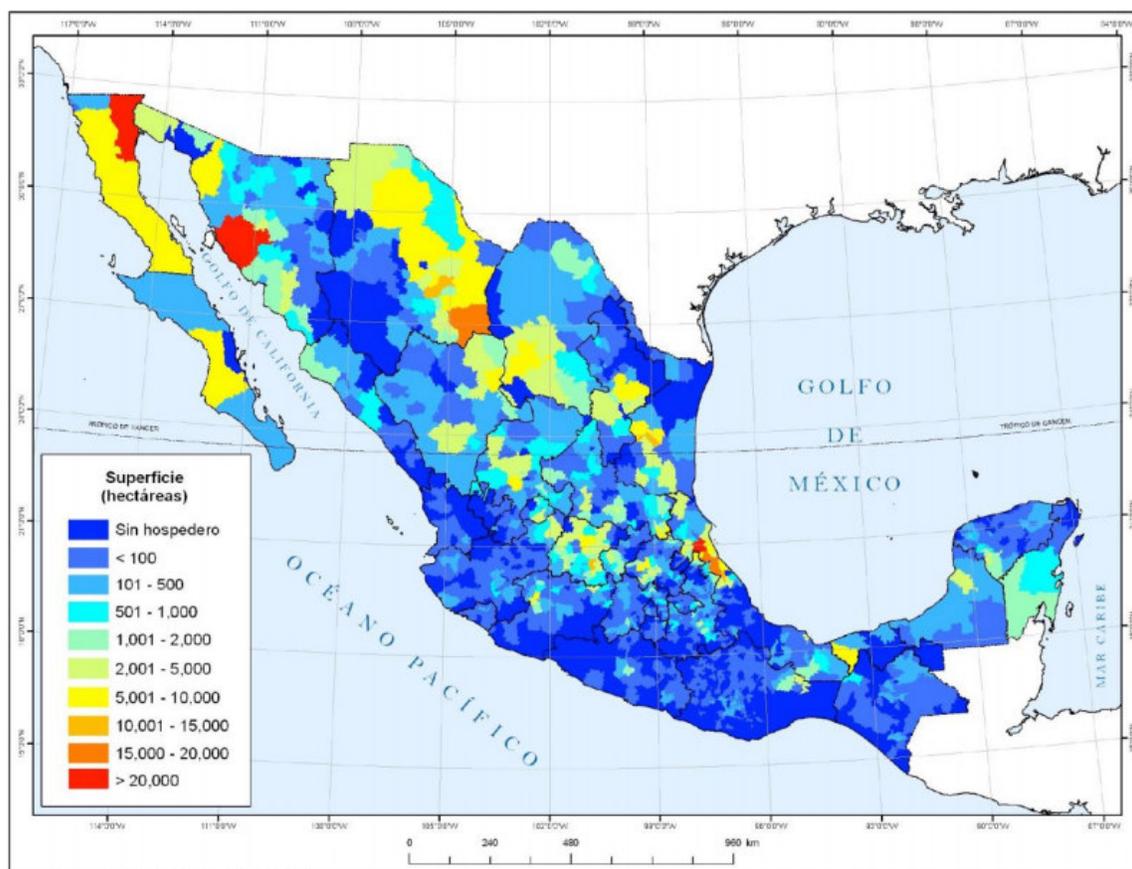


Figura 1-25 Distribución de hospederos potenciales de la bacteria *Xylella fastidiosa* en México. Imagen tomada de “Ficha Técnica No. 26 Enfermedad de Pierce *Xylella fastidiosa* subsp. Fastidiosa,” de SENASICA LANREF-CP, 2013. Copyright 2013 de SENASICA.

Problemas fitosanitarios por insectos en producción

En México, entre los principales problemas fitosanitario que debe enfrentar la producción de nuez pecanera por insectos están el causado por el gusano barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* (Neunzig), el cual afecta un amplio rango de cultivares en una zona geográfica extensa, con un nivel de afectación elevado. El gusano barrenador de la nuez, es originario del Sureste de Estados Unidos y se reportó en México desde 1983, fue introducido accidentalmente en Sonora mediante material vegetativo; ha sido reportado afectando los cultivares Wichita y Western Schley que se cultivan en los principales estados productores de nuez del norte México (Corella-Madueño et al., 2011). Este insecto, al completar 4 generaciones

por año, es responsable de pérdidas de hasta el 80 % de los frutos (Tarango-Rivero, Aguilar-Perez, & Quiñones-Pando, 2003), golpeando negativamente la productividad y rentabilidad del cultivo (García-Nevárez & Tarango-Rivero, 2013).

De acuerdo con estudios de predicción de generaciones del gusano barrenador de la nuez bajo escenarios del cambio climático, se proyecta un incremento en el número de generaciones de 5.4 a 5.9 en promedio, para la región de la Costa de Hermosillo, Sonora. Esta situación tiene el potencial de reducir el rendimiento y de incrementar los costos de control (Grageda-Grageda et al., 2012).

Otro insecto de importancia es el gusano barrenador de ruezno (*Cydia cariana*) el cual también se encuentra en la mayoría de las regiones productivas del país. Provocando la caída de fruto al inicio de su desarrollo y afectando también el llenado y la calidad de la nuez. Durante el ciclo 2008 causó pérdidas de 8.4 % del total de la producción del estado de Durango (SENASICA, 2009).

Muchos insectos reducen el potencial productivo del nogal pecanero al alimentarse de su savia, la alimentación intensiva disminuye los carbohidratos disponibles de la planta afectando la producción de flores y el llenado de almendra. En el caso de los áfidos reducen hasta en un 12 % del peso seco de la nuez (Teddars & Wood, 1985), al mismo tiempo estos insectos son vectores de numerosas enfermedades causadas por bacterias, virus y hongos. Entre los principales succionadores de savia del nogal pecanero reportados en México están el pulgón amarillo de alas con márgenes negros *Monellia caryella* (Fitch), el amarillo *Monelliopsis pecanis* (Bissell) y el negro *M. caryaefoliae* (Davis) (Hemiptera: Aphididae), y también chinches como el gris *Brochymena sulcata*, la conchuela *Chlorochroa ligata* y *Nezara viridula* (Fu-Castillo, Harris, Fontes-Puebla, & Verdugo-Zamorano, 2013; INIFAP, 2013a, 2013b). En el control de barrenadores y otros insectos el uso de insecticidas de amplio espectro resulta en un aumento de pulgones *M. caryella* (Fitch) y *M. pecanis* (Bissell), que afectan a los nogales pecaneros, por lo que el control biológico por medio de *Trichogramma* un parasitoide de huevos de lepidópteros se usa como alternativa (García-Nevárez & Tarango-Rivero, 2013).

La interacción sinérgica entre diferentes patógenos vegetales en un escenario de cambio climático también es una seria preocupación para la producción de nuez pecanera. El género *Carya* registra pérdidas de miles de árboles en los estados de Iowa, Maryland, Missouri, New York, Pennsylvania, West Virginia y Wisconsin; por la interacción sinérgica entre patógenos, responsables de la muerte regresiva del nogal causada por el hongo *Fusarium solani* acarreado por el escarabajo Ambrosia y el escarabajo de la corteza del nogal (*Scolytus quadrispinosus*); y de la enfermedad de chancro de la corteza y disfunción del xilema principal responsable de la pérdida de nogales causado por el hongo (*Ceratocystis smalleyi*) acarreado por *S. quadrispinosus* especialmente durante sequía (Juzwik et al., 2014).

Problemas fitosanitarios por hongos en producción

Una de las enfermedades más importantes en la producción de nuez pecanera por hongos en Norte América, ya detectado también en México (Garza-Lopez, Soria-Ruiz, & Aguilar-Perez, 1996) es la costra o roya causada por *Fusicladium effusum* un hongo patógeno para la mayoría de los cultivares de nogal pecanero, principalmente en condiciones de déficit nutricional y de humedad donde puede resultar en epidemias severas (Sparks, Yates, Bertrand, & B, 2009). El hongo causa una pérdida en la calidad y el rendimiento por caída de frutos, pobre llenado de almendra y alteración en su composición nutricional. El uso de fungicidas para su control además de aumentar costos de producción también puede reducir la fotosíntesis afectando el rendimiento del cultivo (Wood, Reilly, Bock, & Hotchkiss, 2012)

Los diferentes patógenos acá presentados están entre los retos más reconocidos para la sostenibilidad de la producción de nuez pecanera en México. Sin embargo, no son los únicos, existen muchos otros patógenos, ver (Thompson & Conner, 2012), que pueden afectar la producción y cuya magnitud se teme sea exacerbada por efecto del calentamiento global.

Efectos del cambio climático sobre las amenazas bióticas en la agricultura

Adicionalmente las amenazas bióticas pueden ser exacerbadas por efectos del cambio climático, por los efectos sobre la biología, fisiología y dinámica de las poblaciones, así como de las relaciones ecológicas entre los agentes patógenos con la demás biota en su ecosistema (hospederos, patógenos, vectores, malezas hospederas, predadores, simbiosis, etc.), las cuales pueden ser determinantes en el desarrollo y magnitud de las epidemias (Coakley, Scherm, & Chakraborty, 1999; Garrett, Dendy, Frank, Rouse, & Travers, 2006).

Los acelerados cambios ambientales reducen el tiempo para la adaptación e incrementan la vulnerabilidad de ecosistemas naturales. Los patógenos vegetales tienen tres respuestas adaptativas principales al cambio climático que son explotar su plasticidad fenotípica existente, migrar a áreas con clima más apropiado y/o desarrollar nuevos atributos. Una vez introducido en un nuevo entorno, los patógenos vegetales pueden adaptar su estilo de vida al nuevo huésped, o evolucionar por introgresión de genes útiles para la adaptación a través de la hibridación con especies residentes o la transferencia horizontal de genes (Santini & Ghelardini, 2015).

Mientras que las plantas no son capaces de migrar o adaptarse a la misma velocidad que se están dando los cambios ambientales, muchos patógenos en cambio por su cortos ciclos de vida y habilidad de moverse por medios propios o a través de terceros tienen ventajas sobre las plantas. El cambio climático tiene la capacidad de alterar la biodiversidad, causando cambios en fenología, composición genética y rango de especies, así como la interacción de especies y procesos de ecosistemas (Root, MacMynowski, Mastrandrea, & Schneider, 2005). Entre las especies cuya distribución y abundancia se verá modificada están los patógenos vegetales que pueden constituirse en plagas por la magnitud de su impacto negativo en el valor económico o el impacto sobre la salud.

En muchos casos, el aumento en la temperatura resulta en una reacomodación de las barreras que limitan los rangos de presencia de una especie, facilitando el establecimiento o propagación de especies foráneas invasivas (Jarošík, Kenis, Honěk, Skuhrovec, & Pyšek, 2015; Netherer & Schopf, 2010). En muchos casos se espera una expansión geográfica de patógenos y vectores por un aumento en la temperatura, ya que la temperatura determina las tasas de reproducción de muchos patógenos y su tiempo de supervivencia permitiendo un mayor tiempo de evolución, evolución que también puede ser mayor con mayores poblaciones (Garrett et al., 2006).

En general los efectos del rápido cambio climático sobre los patógenos vegetales se pueden dividir en efectos directos e indirectos (Hushaw, 2015).

Los posibles efectos Directos del cambio climático sobre los patógenos vegetales son:

- Temperaturas más altas, inviernos menos fríos

Una mayor supervivencia durante el invierno

Aumento en la producción de esporas y capacidad de infección

Disminución en la población de insectos a una cierta temperatura, la mayoría de insectos son susceptibles al estrés por calor entre 28 y 32 °C

- Periodos de crecimiento más cálidos y largos

Periodo reproductivo más largo

Ciclos de vida acelerados, aumento del número de generaciones por año

Aparición temprana en primavera

Los posibles efectos Indirectos del cambio climático sobre los patógenos vegetales son:

- Plantas hospederas

- Distribución de las plantas hospederas

Pérdida de plantas huésped adecuadas dentro de su nicho climático preferido

Aumento de la susceptibilidad de la planta al ataque de los patógenos.

- Calidad nutricional

Elevado CO₂ y temperatura aumentan la concentración de hidratos de carbono en hojas disminuyendo el contenido de nitrógeno, reduciendo su valor nutricional, lo cual puede conllevar un aumento en el consumo de herbívoros para satisfacer sus necesidades de nutrientes.

- Resistencia de las plantas

Un mayor crecimiento de las plantas a menudo se asocia con una disminución en la producción de compuestos de defensa.

- Fenología

La aceleración del crecimiento de las plantas genera asincronía con sus organismos asociados, las cuales pueden ser positivas cuando se reduce el ataque de patógenos, o negativas cuando se dan con organismos beneficios como los polinizadores

- Interacción con la comunidad

- Enemigos naturales (depredadores, parasitoides, patógenos)
- Competidores
- Mutualistas

- Daños abióticos, que aumentan la susceptibilidad de las plantas hospederas

- Tormentas
- Sequías
- Altas temperaturas

Prospectiva de la producción de nuez pecanera ante el cambio climático

Mitigación de emisiones de gases efecto invernadero en la producción de nuez pecanera

La mitigación corresponde a la intervención con el fin de reducir las fuentes de gases de efecto invernadero o potenciar los sumideros de estos gases, por ejemplo, las medidas de control de las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, la reducción de las emisiones de partículas en suspensión que pueden alterar de forma directa el balance de radiación, también de compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes que puedan alterar la concentración de ozono troposférico (IPCC, 2014).

En respuesta a sus compromisos internacionales México ha venido trabajando desde 1992 en instrumentos de política, arreglos institucionales y documentación relativa al cambio climático. Entre ellos la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en vigor desde octubre de 2012; La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), instrumento de planeación que define la visión de largo plazo; El Programa Especial de Cambio Climático (PECC), que establece los objetivos, estrategias, acciones y metas para enfrentar el cambio climático; El Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC), dirigido a la coordinación de los distintos órdenes de gobierno y la concertación entre los sectores público, privado y social, integrado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC); el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); el Consejo de Cambio Climático (C3); las entidades federativas; las asociaciones de autoridades municipales; y el Congreso de la Unión (SEMARNAT & INECC, 2016).

A nivel estatal, municipal y regional se tienen las siguientes acciones: Los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) que son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas públicas sustentables y acciones relacionadas en materia de cambio climático en los órdenes de gobierno estatales; y a nivel municipal los Planes de Acción Climática Municipal (PACMUN).

El estado de Chihuahua, el principal productor de nuez pecanera en México, ya cuenta con un programa estatal de cambio climático (PECC) en el que se identificaron nueve políticas de mitigación de gases efecto invernadero en el sector de agricultura, gestión de residuos, silvicultura y uso del suelo. Dos de estas nueve políticas tienen que ver con el cultivo del nogal pecanero, la primera es *AFW.1 Sustitución de fertilizantes inorgánicos por orgánicos*, para reducir las emisiones de N₂O derivados del uso de fertilizantes nitrogenados, los lixiviados a los mantos freáticos, y mejorar en el largo plazo la salud del suelo; y la segunda política es *AFW.2 Reconversión de cultivos agrícolas hacia variedades con mayores rendimientos por recursos utilizados*. De esta forma el sistema producto de nuez pecanera también participaría en la reducción de emisiones. Sin embargo, a pesar de las acciones previstas a través de las 33 políticas en los diferentes sectores, el PECC del estado de Chihuahua solo mitigaría para el año 2020 las emisiones en la mitad de la meta del 30% establecidas en la Ley general de cambio climático (Legarreta-Castillo et al., 2014).

Por el contrario en el PECC del estado de Coahuila no se establecen políticas de agricultura, silvicultura y otros usos del suelo en las que pueda contribuir el cultivo del nogal pecanero en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, pues las políticas propuestas son *AFOLU-1. Gestión de estiércol del ganado lechero; AFOLU-2. Incremento y mantenimiento de vegetación urbana; AFOLU-3. Incremento y conservación de vegetación en áreas rurales* (SEMA, COCEF, MLED, USAID, & WWF, 2016).

El CONACYT elaboró agendas estatales y regionales de innovación para apoyar el crecimiento de sectores productivos con base en el desarrollo de sus ventajas competitivas, concebidas como una herramienta para ayudar a los estados a innovar y orientar a los tomadores de decisiones para dirigir los recursos de manera estratégica para fortalecer su vocación productiva. La agenda de innovación de la región Norte presenta sistemas producto estratégicos, áreas del sector agroindustrial alimentario de la región relevantes de impulsar, y líneas de innovación identificadas como prioritarias (CONACYT, 2015b). Sin embargo, a pesar de ser México uno de los grandes exportadores de nuez pecanera, y de enfrentar en el mediano y largo plazo amenazas abióticas y bióticas muy importantes por el rápido calentamiento global este sistema producto no aparece en la agenda de innovación de la región Norte. Tampoco aparece en la agenda de innovación del estado de Chihuahua, el principal productor de Nuez en México (CONACYT, 2015a), ni en las agendas de innovación de los demás estados con producción importante como Sonora, Coahuila, Durango y Nuevo León (CONACYT, 2015c).

Adaptación del cultivo de nuez pecanera al cambio climático

La adaptación es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. La adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2014).

Los drásticos cambios en disminución de las precipitaciones e incremento en la temperatura promedio proyectados por efecto del rápido calentamiento global en la zona Norte de México, sumado a la sobre-explotación actual de los acuíferos, y al aumento previsto de la demanda hídrica nacional suponen una seria amenaza para la producción futura no solo de nuez pecanera en estas zonas si no en general de todos los cultivos agrícolas. El cambio climático también es una potencial amenaza para la producción al exacerbar la ocurrencia de plagas y enfermedades.

La amenaza que representa el rápido cambio climático para México es reconocida por el gobierno, quien en el Programa Especial de Cambio Climático 2014-208 de México proyecta impactos negativos en diferentes sectores entre ellos el agrícola e hídrico, donde se reconoce que existe evidencia que la mayoría de cultivos resultarán menos adecuados para su producción en el territorio nacional para el 2030, empeorando para finales del presente siglo; y en el hídrico donde se reconoce que la mayor parte del país se volverá más seco, con un aumento en la frecuencia de sequías y aumento en la demanda de agua principalmente en el norte del país (SEMARNAT, 2014b).

Estimaciones del impacto del calentamiento global en la agricultura para el año 2080, basadas en proyecciones climáticas detalladas usando modelos Ricardianos y de cultivos, calculan pérdidas en la capacidad agrícola entre 25.4 a 35.9 % para México (Galindo, Samaniego, Alatorre, Ferrer, & Reyes, 2014). La evidencia muestra que los efectos del cambio climático sobre las actividades agrícolas son no-lineales y dependen de factores adicionales como la disponibilidad de agua, infraestructura de riego, acceso a tecnología y/o condiciones socio-económicas y demográficas de los agricultores.

Una tarea importante de los productores de nuez pecanera para enfrentar el déficit hídrico actual es adoptar estrategias que mejoren el uso del recurso hídrico, como las establecidas en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018, que buscan asegurar el agua para el riego agrícola, por medio de las diferentes líneas de acción establecidas en las estrategias 5.1 *Mejorar la productividad del agua en la agricultura* y la 5.2 *Utilizar sustentablemente el agua para impulsar el desarrollo en zonas con disponibilidad* (CONAGUA, 2014b). Así como todas aquellas que incrementen la eficiencia en el uso del agua incluyendo la selección de variedades que requieran de menos agua. Es necesario que el comité del sistema producto participe activamente en la implementación regional de las líneas de acción del Programa Nacional Hídrico 2014-2018, para determinar la viabilidad del establecimiento de futuras plantaciones de acuerdo a la oferta real del agua.

México cuenta desde el año 2011 con un plan rector del sistema nacional nuez, el cual guía las acciones del Comité del sistema producto recogiendo la visión del sistema producto, la caracterización de los actores participantes, y la definición de estrategias, y los proyectos que permiten concretar las estrategias. En este plan rector se reconoce la amenaza del cambio climático en la producción de nuez pecanera, por lo que plantea el proyecto *IV.1.P3 Investigación de variedades de nogal resistentes al cambio climático*, dentro de la estrategia *IV. Perfeccionamiento del proceso productivo en los eslabones del sistema producto*, *IV.1 Investigación para mejorar el proceso productivo* (SAGARPA, 2011).

El sistema producto Nuez pecanera debe avanzar en el diagnóstico y planeación de acciones para la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero y el uso eficiente del agua, otros sistemas producto que han avanzado en ello han identificado acciones con un alto potencial de beneficio, por ejemplo la agroindustria azucarera de México que ha calculado que el ahorro de agua por el uso de tecnología de alta penetración de riego por goteo, en cultivos de caña de azúcar, puede ser hasta del 60% de agua (Riegelhaupt, Gutiérrez Llerena, & García Bustamante, 2012), un ahorro de esta magnitud liberaría cantidades suficientes para continuar con la producción y planes de expansión.

Otro factor importante es la participación activa en la gestión de las cuencas hidrológicas y acuíferos que suministran el agua necesaria para los cultivos, debido al rápido crecimiento del área plantada con nogales pecaneros y a su alto consumo de agua, es necesario el trabajo conjunto con instituciones especializadas en el estudio y ordenamiento de cuencas hidrológicas con la capacidad científica y tecnológica para asesorar en la planificación de nuevas áreas

dedicadas a plantaciones que permitan optimizar de forma económica, técnica y ambientalmente sostenible el recurso hídrico.

La vulnerabilidad del nogal pecanero ante el cambio climático demanda acciones en diferentes frentes para evitar pérdidas millonarias de un sector con un gran potencial para el norte de México. En atención a las serias amenazas que por factores bióticos y abióticos deberán enfrentar las plantaciones de nuez pecanera es indispensable avanzar en el mejoramiento vegetal para garantizar la sostenibilidad de la producción, haciendo uso para ello de las más avanzadas técnicas disponibles que permitan la obtención de variedades con las mejores características en el menor tiempo posible. En la actualidad la biotecnología aplicada al mejoramiento vegetal es una alternativa promisoriosa para el aumento de tolerancia a estrés biótico y abiótico de una forma dirigida. El mejoramiento vegetal de nogal pecanero es un área de oportunidad que debe ser más explotada en México, de acuerdo con el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la SAGARPA solo se cuenta con una variedad, la “Norteña” (Pérez et al., 2015), registrada en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales, con título de obtentor a nombre del INIFAP (SNICS, 2016).

En la actualidad la biotecnología ofrece alternativas viables para garantizar la sostenibilidad de la producción, demostrada a través de más de 181 millones de hectáreas de diferentes cultivos genéticamente modificados sembrados en 28 diferentes países en el año 2014, cultivos mejorados principalmente para conferir ventajas contra las amenazas bióticas, volviéndolos más resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas, pero con un adelantos tecnológicos en tolerancia a estreses abióticos y biofortificación (Clive, 2014), que pueden servir de referentes para el mejoramiento en nogal pecanero.

La gran área sembrada también demanda un sistema de información preciso y actualizable de identificación de agentes patógenos, así como de la frecuencia e intensidad de sus daños, que permitan actuar de forma rápida y coordinada para su control, así como de un programa de desarrollo de soluciones fitopatológicas mediante herramientas biotecnológicas.

Referencias

- Atkinson, C. J., Brennan, R. M., & Jones, H. G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany*, *91*, 48–62. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847213000312>
- Blumwald, E., & Grover, A. (2006). Salt Tolerance. In N. Halford (Ed.), *Plant biotechnology: Current and future applications of genetically modified crops* (pp. 206–224). <https://doi.org/10.1002/0470021837>
- Brown, P. W. (2010). Pecan water use estimates for southern arizona and northern mexico. In J. H. Nuñez-Moreno, J. Grageda-Grageda, R. Sabori-Palma, & L. A. Maldonado-Navarro (Eds.), *XI Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 54–61). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1684/XI_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2010.pdf?sequence=1#page=118
- Burns, R. M., & Honkala, B. H. (1990). Silvics of North America. *Agriculture Handbook 654*, 2, 877. Retrieved from http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/table_of_contents.htm
- Campos de Jesús, S., Vázquez Palacios, L., Olivares Sáenz, E., Treviño Playán, L. M., Santos Moreno, O., Lemus Hernández, C., ... Leyva Retes, J. A. (2005). Diagnóstico del cultivo de nogal, Nuevo León.
- Cannell, M. G. R., & Smith, R. I. (1983). Thermal Time , Chill Days and Prediction of Budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology*, *20*(3), 951–963. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/2403139?seq=1#page_scan_tab_contents
- Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado, G., De-Grau, P., Prieto-González, R., ... Bravo, M. E. (2013). Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional. Retrieved from <http://escenarios.inecc.gob.mx/>
- Clive, J. (2014). Resumen ejecutivo: Situación mundial de los cultivos biotecnológicos/GM comercializados: 2014. In *Situación mundial de los cultivos biotecnológicos/GM comercializados: 2014* (p. 20). Retrieved from <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/pdf/B49-ExecSum-Spanish-Spain.pdf>
- Coakley, S. M., Scherm, H., & Chakraborty, S. (1999). Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*, *37*, 399–426. Retrieved from <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.phyto.37.1.399>
- CONABIO, (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2014). *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio del Estado*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Chihuahua_Final_Web.pdf
- CONACYT. (2015a). Agenda de innovación de chihuahua 4.1. área de especialización: agroindustria alimentaria. In *Agenda de innovación de chihuahua* (p. 85). Retrieved from

- <http://www.agendasinnovacion.mx/>
- CONACYT. (2015b). *Agenda de Innovación de la Región Norte*. Retrieved from <http://www.agendasinnovacion.mx/wp-content/uploads/2015/07/Agenda-de-Innovación-Región-Norte.pdf>
- CONACYT. (2015c). *Agendas Estatales de Innovación*. Retrieved November 7, 2016, from <http://www.agendasinnovacion.mx/>
- CONAGUA. (2012). *Atlas digital del agua México*. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo21.html>
- CONAGUA. (2014a). *Atlas del Agua en México 2014*. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-17-14.pdf>
- CONAGUA. (2014b). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. In *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 del Gobierno de la República* (p. 139). Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=28&n3=28>
- CONAGUA. (2015). *Atlas del agua en México 2015*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cook, B. I., Ault, T. R., & Smerdon, J. E. (2015). Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains. *Science Advances*, *1*(1), 1–7. Retrieved from <http://advances.sciencemag.org/content/1/1/e1400082.full.pdf+html>
- Corella-Madueño, M. a, Harris, M. K., Fu-Castillo, A. a, Martínez-Téllez, M. a, Valenzuela-Soto, E. M., Gálvez-Ruiz, J. C., & Vargas-Arispuro, I. (2011). Volatiles emitted by *Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch as a prelude for semiochemical investigations to focus on *Acrobasis nuxvorella* Nuenzig (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest Management Science*, *67*(12), 1522–7. <https://doi.org/10.1002/ps.2205>
- Doroszuk, A., Wojewodziec, M. W., & Kammenga, J. E. (2006). Rapid adaptive divergence of life-history traits in response to abiotic stress within a natural population of a parthenogenetic nematode. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *273*(1601), 2611–2618. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3602>
- Fu-Castillo, A. A., Harris, M., Fontes-Puebla, A. A., & Verdugo-Zamorano, W. (2013). Trampeo e identificación de la feromona sexual del gusano barrenador de la nuez, *Acrobasis nuxvorella* (Lepidoptera: Pyralidae) en México. *Revista de Ciencias Biológicas Y de La Salud*, *XV*(2), 25–30.
- Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Ferrer, J., & Reyes, O. (2014). VI. Cambio climático, agricultura y pobreza: una aproximación empírica. In L. M. Galindo, J. Samaniego, J. E. Alatorre, J. Ferrer, & O. Reyes (Eds.), *Agricultura y pobreza en América Latina Una aproximación empírica* (p. 108). CEPAL. Retrieved from <http://www.cepal.org/es/publicaciones/37045-cambio-climatico-agricultura-y-pobreza-en-america-latina-una-aproximacion>
- García-Nevárez, G., & Tarango-Rivero, S. H. (2013). Efficacy of *Trichogramma platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) for the biological control of *Acrobasis nuxvorella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Cydia caryana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Southwestern Entomologist*, *38*(3), 523–530. <https://doi.org/10.3958/059.038.0314>

- Gardea, A. A., Orozco-Avitia, J. A., & Romo-Chacon, A. (2010). Efecto del cambio climático en el cultivo del nogal pecanero. In J. H. Nuñez-Moreno, J. Grageda-Grageda, R. Sabori-Palma, & L. A. Maldonado-Navarro (Eds.), *XI Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 45–47). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1684/XI Simposio internacional de nogal pecanero 2010.pdf?sequence=1#page=70](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1684/XI_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2010.pdf?sequence=1#page=70)
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate Change Effects on Plant Disease: Genomes to Ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 44(1), 489–509. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143420>
- Garza-Lopez, J. G., Soria-Ruiz, J., & Aguilar-Perez, H. (1996). Susceptibility to foliage and fruit diseases in some pecan cultivars at Coahuila, North Mexico. *Tropical Agriculture*, 73(4), 270–274. Retrieved from <http://www.cabdirect.org/abstracts/19980303019.html>
- Grageda-Grageda, J., Fu-Castillo, A. A., Valdez-Gascon, B., Nuñez-Moreno, J. H., Jimenez-Lagunes, A., Sabori-Palma, R., & Urias-Garcia, E. (2013). El clima y la producción de nogal pecanero. In J. Grageda-Grageda, J. H. Nuñez-Moreno, L. A. Maldonado-Navarro, G. Martinez-Diaz, & F. Vieira de Figueiredo (Eds.), *XIV Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 57–68). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/26/2013/anuales/anu_1493-6-2014-05-1.pdf#page=57
- Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J. A., Jiménez-Lagunes, A., Fu-Castillo, A. A., Fontes-Puebla, A. A., Verdugo-Zamorano, W., & García-Sesma, D. (2012). Predicción de generaciones de gusano barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* Neunzig bajo escenarios del cambio climático en la costa de Hermosillo, Sonora. In J. Grageda-Grageda, J. H. Nuñez-Moreno, L. A. Maldonado-Navarro, F. A. Vieira de Figueiredo, A. A. Fontes-Puebla, & R. Sabori-Palma (Eds.), *XIII Simposio Internacional de Nogal Pecanero 2012* (pp. 96–101). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3576/3991 XIII Simposio internacional de nogal pecanero 2012.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3576/3991_XIII_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2012.pdf?sequence=1)
- Graham, C. J. (2013). I International Symposium on Pecans and Other *Carya* in Indigenous and Managed Systems. In *Native Pecan Germplasm in Louisiana* (pp. 133–136). Retrieved from http://www.actahort.org/books/1070/1070_14.htm
- Grauke, L. J., Mendoza-Herrera, M. A., Miller, A. J., & Wood, B. W. (2011). Geographic patterns of genetic variation in native pecans. *Tree Genetics & Genomes*, 7(5), 917–932. <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0384-4>
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Schmidt, G. A., & Lo, K. (2016). Global Temperature in 2015, (January), 1–6. Retrieved from http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2016/20160120_Temperature2015.pdf
- Herrera, E. A. (1988). Growth and Development of Pecan Nuts. New Mexico State University.
- Herrera, E. A. (1995). Pecan Growing in the Western United States. *HortTechnology*, 5(3), 3–4. Retrieved from <http://horttech.ashspublications.org/content/5/3/200.short>
- Herrera, E. A. (1996). *Economic Importance of the Pecan Industry*. Retrieved from

- <http://contentdm.nmsu.edu/cdm/ref/collection/AgCircs/id/56676>
- Hushaw, J. (2015). Forest Pests and Climate Change. Retrieved from https://www.manomet.org/sites/default/files/publications_and_tools/Forest-Pests-and-Climate-Change_FullBulletin.pdf
- INIFAP. (2013a). Manejo de Áfidos del Nogal pecanero.
- INIFAP. (2013b). Manejo integrado de chinches en nogal pecanero.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. (R. K. Pachauri & L. A. Meyer, Eds.). Ginebra, Suiza. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/index.shtml>
- Jarošík, V., Kenis, M., Honěk, A., Skuhrovec, J., & Pyšek, P. (2015). Invasive Insects Differ from Non-Invasive in Their Thermal Requirements. *PloS One*, *10*(6), e0131072. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131072>
- Jasso-Ibarra, R., Chávez-Sánchez, N., Figueroa-Viramontes, U., Rivera-González, M., & Sabori-Palma, R. (2010). Salinidad del agua de riego y su efecto en la productividad del nogal pecanero. In J. H. Nuñez-Moreno, J. Grageda-Grageda, R. Sabori-Palma, & L. A. Maldonado-Navarro (Eds.), *XI Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 35–44). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1684/XI Simposio internacional de nogal pecanero 2010.pdf?sequence=1#page=35](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1684/XI_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2010.pdf?sequence=1#page=35)
- Jones, H. G., & Jones, M. B. (1989). Introduction: some terminology and common mechanisms. In H. G. Jones, T. J. Flowers, & M. B. Jones (Eds.), *Plants under stress: biochemistry, physiology and ecology and their application to plant improvement* (pp. 1–10). Society for Experimental Biology. Retrieved from [http://www.agrifs.ir/sites/default/files/Hamlyn G. Jones%2C T. J. Flowers%2C M. B. Jones Plants under Stress Biochemistry%2C Physiology and Ecology and their Application to Plant Improvement Society for Experimental Biology Seminar Series.pdf](http://www.agrifs.ir/sites/default/files/Hamlyn_G._Jones%2C_T._J._Flowers%2C_M._B._Jones_Plants_under_Stress_Biochemistry%2C_Physiology_and_Ecology_and_their_Application_to_Plant_Improvement_Society_for_Experimental_Biology_Seminar_Series.pdf)
- Juzwik, J., Park, J.-H., Haugen, L., Juzwik, J., Park, J.-H., & Haugen, L. (2014). *Chapter 9 - Assessment and etiology of hickory (Carya spp.) decline in the midwest and northeastern regions (Project NC-EM-07-01)*. Retrieved from <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/47209>
- Lagarda-Murrieta, Á. (2012). La germinación prematura de la nuez pecanera (viviparidad). In J. Grageda-Grageda, J. H. Núñez-Moreno, L. A. Maldonado-Navarro, F. A. Vieira de Figueiredo, A. A. Fontes-Puebla, & R. Sabori-Palma (Eds.), *XIII Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 58–65). Hermosillo, Sonora: INIFAP. Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3576/3991 XIII Simposio internacional de nogal pecanero 2012.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/3576/3991_XIII_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2012.pdf?sequence=1)
- Legarreta-Castillo, I., Vázquez-Valles, M. E., Balarezo-Vásquez, T., Cital-Beltrán, P., Herrera-Peraza, E. F., & Rubalcaba-Mendoza, S. (2014). *Programa Estatal de Cambio Climático del estado de Chihuahua: Identificación de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero*. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. Retrieved from [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106499/Reporte_Final_2da_Etapa_PE CC-CHIH_abril_2016.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106499/Reporte_Final_2da_Etapa_PE_CC-CHIH_abril_2016.pdf)

- Lombardini, L., Restrepo-Díaz, H., & Volder, A. (2009). Photosynthetic Light Response and Epidermal Characteristics of Sun and Shade Pecan Leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 372–378. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/134/3/372.short>
- López-Díaz, J., Arras-Vota, A., Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D., Robles-Hernández, L., & Villalobos-Pérez, E. (2010). Prospectiva económica y rentabilidad de unidades típicas de producción de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] en Delicias, Chihuahua. In J. H. Núñez-Moreno, J. Grageda-Grageda, R. Sabori-Palma, & L. A. Maldonado-Navarro (Eds.), *XI Simposio Internacional de Nogal Pecanero* (pp. 162–168). Hermosillo, Sonora: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1684/XI Simposio internacional de nogal pecanero 2010.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1684/XI_Simposio_internacional_de_nogal_pecanero_2010.pdf?sequence=1)
- McElrone, A. J., Sherald, J. L., & Forseth, I. N. (2003). Interactive effects of water stress and xylem-limited bacterial infection on the water relations of a host vine. *Journal of Experimental Botany*, 54(381), 419–430. <https://doi.org/10.1093/jxb/54.381.419>
- Melanson, R., & Sanderlin, R. (2012). A systematic study reveals that *Xylella fastidiosa* strains from pecan are part of *X. fastidiosa* subsp. *multiplex*. *Plant Disease*, 96(8), 1123–1134. Retrieved from <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-09-11-0730-RE>
- Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6), 758–763.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 25(2), 239–250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Netherer, S., & Schopf, A. (2010). Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests—General aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.034>
- O’Barr, R. D., Sherman, W., Young, W. A., Meadows, W. A., Calcote, V., & KenKnight, G. (1990). “Moreland” Pecan. *HortScience*, 25(7), 818–819. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/25/7/818.full.pdf>
- Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, O., López-Ochoa, G., & Martínez-Téllez, J. (2009). Evolución de los sistemas de producción de nuez en México. *TecnoCiencia Chihuahua*, III(3), 115–120.
- Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Fortis-Hernández, M., Vázquez-Vázquez, C., & Gallegos-Robles, M. (2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 461–476.
- Peleg, Z., Apse, M. P., & Blumwald, E. (2011). *Engineering Salinity and Water-Stress Tolerance in Crop Plants. Getting Closer to the Field. Advances in Botanical Research* (Vol. 57). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00012-6>
- Pérez, H. A., Ávila, J. A., Olais, E. M., Villarreal, E. C., Murrieta, Á. L., Rivero, H. T., ...

- Lombardini, L. (2015). “Norteña” Pecan. *HortScience*, 50(9), 1399–1400.
- Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C., & Campbell, E. M. (2012). North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22(1), 119–141. <https://doi.org/10.1890/11-0495.1>
- Reich, P. B., Sendall, K. M., Rice, K., Rich, R. L., & Stefanski, A. (2015). Geographic range predicts photosynthetic and growth response to warming in co-occurring tree species. *Nature Climate Change*, 5(2), 148–152. Retrieved from <http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n2/full/nclimate2497.html>
- Riegelhaupt, E., Gutiérrez Llerena, P. J., & García Bustamante, C. (2012). “Acciones apropiadas para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y uso eficiente del agua en la agroindustria azucarera de México.” Retrieved from http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113204/2012_Accion_aprop_mitigacion_EGEIyUEA.pdf
- Root, T. L., MacMynowski, D. P., Mastrandrea, M. D., & Schneider, S. H. (2005). Human-modified temperatures induce species changes: Joint attribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(21), 7465–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.0502286102>
- Rosengarten Jr, F. (1984). *The book of edible nuts*. New York, NY: Walker Publishing Company, Inc.
- Saenz-Romero, C. (2014). *Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático*. (C. Saenz-Romero, Ed.). CONAFOR. Retrieved from [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/6688Guía Técnica para la Planeación de la Reforestación.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/6688Guía_Técnica_para_la_Planeación_de_la_Reforestación.pdf)
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St-Amant, R., Beaulieu, J., & Richardson, B. A. (2010). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change*, 102(3–4), 595–623. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>
- Sagaram, M., & Lombardini, L. (2011). Variation in Anatomical Characteristics in Leaves of Pecan Seedstocks from Mexico and the United States. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 136(2), 103–108. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/136/2/103.full>
- SAGARPA. (2011). *Plan Rector Sistema Nacional Nuez*. Retrieved from https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj8iaLFyIjQAhVK7mMKHQAdA3EQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fdev.pue.itesm.mx%2Fsagarpa%2Fnacionales%2FEXP_CNISP_NOGAL%2FPLAN%2520RECTOR%2520QUE%2520CONTIENE%2520PROGRAMA%25
- Sammis, T. W., Mexal, J. G., & Miller, D. (2004). Evapotranspiration of flood-irrigated pecans. *Agricultural Water Management*, 69(3), 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.05.005>
- Santini, A., & Ghelardini, L. (2015). Plant pathogen evolution and climate change. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural*

- Resources*, 10(35), 1–8. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201510035>
- Secretaría-Economía. (2015). SIAVI, Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Retrieved November 30, 2015, from <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- SEMA, COCEF, MLED, USAID, & WWF. (2016). *Plan Estatal Contra el Cambio Climático en Coahuila: reporte final*. Retrieved from http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106506/PECC_Coahuila_MICRO_espa_ol_27_abril_2016.pdf
- SEMARNAT. (2013). La degradación de los suelos en México. In *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental* (2012th ed., pp. 137–139). México D.F. Retrieved from http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf
- SEMARNAT. (2014a). Disponibilidad de Agua. In *El Medio Ambiente en México 2013-2014*. SEMARNAT. Retrieved from http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_3.html
- SEMARNAT. Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC) (2014). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- SEMARNAT. (2014c). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Promarnat). Retrieved from <http://201.116.60.25/documento/ViewPnhToPdf.aspx?iddoc=17>
- SEMARNAT, & INECC. (2016). Sistema de Información Sobre Cambio Climático. Retrieved November 4, 2016, from <http://www.sicc.amarellodev.com/marco-normativo-nacional.php>
- SENASICA. (2009). *Programa de trabajo de la campaña Manejo fitosanitario del nogal Durango*.
- SENASICA. (2013). Ficha Técnica No. 26 Enfermedad de Pierce Xylella fastidiosa subsp. fastidiosa. Retrieved from <http://www.cesaveson.com/files/69c7594df927559f9819272bd776d839.pdf>
- SIAP. (2016). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Retrieved October 21, 2016, from http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp
- SIAP-SAGARPA. (2015). *Atlas Agroalimentario 2015*. Retrieved from http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/pag/2015/Atlas-Agroalimentario-2015
- SNICS. (2016). *Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales (Plant Variety Rights Gazette) Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales (Plant Variety Rights Gazette)*. (SAGARPA, Ed.) (18th ed.). Ciudad de México. Retrieved from <http://snics.sagarpa.gob.mx/Documents/2016/GACETAjun2016.pdf>
- Sparks, D., Yates, I. E., Bertrand, P. F., & B, B. T. (2009). The relative impacts of elevation and rainy days on the incidence of scab damage of pecan nuts in the southeastern USA. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84(2), 137–142. Retrieved from http://www.jhortscib.org/Vol84/84_2/5.htm
- Tarango-Rivero, S. H., Aguilar-Perez, H., & Quiñones-Pando, F. J. (2003). Biología, muestreo

- y control de los barrenadores del ruezno y de la nuez. Retrieved from http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/2532/Biologia_muestreo_y_control_de_los_barrenadores_del_ruezno_y_de_la_nuez.pdf?sequence=1
- Tedders, W. L., & Wood, B. W. (1985). Estimate of the Influence of Feeding by *Monelliopsis pecanis* and *Monellia caryella* (Homoptera: Aphididae) on the Fruit, Foliage, Carbohydrate Reserves, and Tree Productivity of Mature ‘Stuart’ Pecans. *Journal of Economic Entomology*, 78(3), 642–646. Retrieved from <http://jee.oxfordjournals.org/content/78/3/642>
- Thompson, T. E., & Conner, P. J. (2012). Fruit Breeding. In M. L. Badenes & D. H. Byrne (Eds.), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding* 8 (pp. 771–801). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9>
- Upson, S., Rohla, C., Locke, J., & Springer, J. (2012). *Pecan Production 101*. (S. Upson, C. Rohla, J. Locke, & J. Springer, Eds.). The Samuel Roberts Noble Foundation. Retrieved from <http://www.noble.org/ag/horticulture/pecan-production-101/>
- US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, N. D. L. (2016). National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. Retrieved November 16, 2016, from <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- Wagner, Vendrame; Hazel, W. (2005). *Carya illinoensis* Pecan. In R. E. Litz (Ed.), *Biotechnology of fruit and nut crops*. CABI.
- Wood, B. W., Grauke, L. J., & Payne, J. A. (1998). Provenance Variation in Pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/123/6/1023.abstract>
- Wood, B. W., Reilly, C. C., Bock, C. H., & Hotchkiss, M. W. (2012). Suppression of Pecan Scab by Nickel. *HortScience*, 47(4), 503–508.

Capítulo 2 Tecnologías de extracción y métodos de cuantificación de fitocompuestos

Nohemí del Carmen Reyes Vázquez, Jesús Cervantes Martínez, Efraín Obregón Solís y Jorge Alberto García Fajardo

Introducción

En la actualidad la gente busca maneras de conservarse sanos y sentirse mejor, por lo que el mercado de los compuestos bioactivos ya sea como suplementos alimenticios, productos nutraceuticos, cosmeceuticos o incluso farmaceuticos va en aumento. Recientemente, en Estados Unidos el mercado estimado fue de \$51.8 millones de dólares en el 2014; no obstante, las proyecciones indican incrementos hasta de \$76 millones de dólares en el 2019. En México se estima que se gasta \$15 millones de pesos al año en estos productos, proyectándose que en el 2050 el 24 % de la población serán consumidores habituales (INNCOM, 2015). Esta demanda obliga a la exploración y aplicación de tecnologías de extracción/separación, y métodos de cuantificación en materiales con alto potencial de mercado como es el caso de la nuez pecanera y subproductos, los cuales son ricos en fitocompuestos. La selección de las tecnologías apropiadas varía de acuerdo a la naturaleza de los compuestos de interés con el fin de obtener un máximo rendimiento y alta pureza (Kadam, Tiwari, & O'Donnell, 2013). Existen estudios en los cuales reportan la obtención de estos compuestos a partir de las distintas fracciones de la nuez por técnicas tradicionales mediante solventes. Sin embargo, las tecnologías no convencionales están surgiendo y posicionándose de manera importante, debido a que garantizan tiempos cortos de extracción, reducción de gradientes térmicos, reducción de tamaño del equipo e incremento en los rendimientos y calidad del producto, produciendo además ahorros en energía y reduciendo los costos de operación, siendo consideradas como "Tecnologías Verdes".

Nohemí del Carmen Reyes Vázquez, Dr.
Tecnología Alimentaria, CIATEJ unidad Noreste
nreyes@ciatej.mx

Jesús Cervantes Martínez, Dr.
Espectroscopia Láser, Servicios Analíticos y Metrológicos, CIATEJ unidad Guadalajara
cervantes@ciatej.mx

Efraín Obregón Solís, L.Q.I.
Tecnología Alimentaria, CIATEJ unidad Noreste
esolis@ciatej.mx

Jorge Alberto García Fajardo, Dr.
Tecnología Alimentaria, Director CIATEJ unidad Noreste
jgarcia@ciatej.mx

Adicionalmente, la cuantificación de estos fitocompuestos se logra generalmente mediante métodos espectrofotométricos y cromatográficos, sin embargo, los métodos ópticos de cuantificación no destructivos como la Fluorescencia Inducida por Láser (LIF por sus siglas en inglés) y la espectroscopia Raman son técnicas muy apropiadas para la identificación y cuantificación de compuestos presentes en una muestra (Parson, 2009).

Antecedentes.

El interés por el mejoramiento y desarrollo de las técnicas de extracción y separación de compuestos bioactivos data desde la antigüedad, cuando se observó un efecto benéfico de plantas y hierbas en la salud humana. Adicional a la aplicación farmacéutica de estos compuestos, también tienen numerosas aplicaciones en cosméticos y alimentos.

La extracción de estos compuestos se puede realizar por técnicas convencionales mediante solventes. Sin embargo, en los últimos años, el desarrollo de tecnologías no convencionales ha tenido como objetivo disminuir el uso de químicos orgánicos y sintéticos, reducir el tiempo de operación, mejorar el rendimiento de proceso y mejorar la calidad del extracto. Con base a estos objetivos, se han desarrollado tecnologías de extracción como asistida por microondas, ultrasonificación, enzimas, fluido supercrítico etc. (Chemat & Cravotto, 2011). En la Figura 2-1 se enlistan los principales métodos de extracción existentes, clasificándolos en convencionales y no convencionales, haciendo diferenciación entre los que requieren uno o varios pasos de separación adicionales para purificar el extracto. Cabe destacar, que para el caso de la nuez pecanera los métodos de extracción utilizados son del tipo convencional, y entre los no convencionales, destacan los trabajos con fluido supercrítico a nivel laboratorio.

Tecnologías Tradicionales de Extracción de Fitocompuestos.

Las tecnologías tradicionales han sido utilizadas en la extracción de fitocompuestos y aceites de la nuez pecanera, y otras variedades de nuez. Entre las que se encuentran: hidrodestilación, infusión, solventes, secado por aspersión, liofilización, etc. (Kornsteiner et al., 2006; Santos et al., 2012; Villarreal-Lozoya et al., 2007).

Entre las tecnologías comúnmente utilizadas para obtener aceite de nuez, se reporta la extracción con hexano y el prensado en frío utilizando una prensa con tornillo helicoidal (Martínez, 2014; Miraliakbari & Shahidi, 2008). En una investigación realizada en aceite de nuez pecanera Santos et al., (2012) evaluaron el efecto de procesos de extracción mediante presión hidráulica, éter de petróleo y hexano sobre la calidad fisicoquímica del aceite de nuez, demostrando cambios significativos en el índice de acidez y peróxidos, sin alterar los índices de refracción y saponificación. Asimismo, estos procesos no alteraron el perfil de ácidos grasos insaturados como oleico, linoleico y linolénico. Con relación a cáscara de nuez pecanera, uno

de los compuestos de mayor interés a extraer son los taninos condensados o proantocianidinas, lográndose obtener con metanol, acetona, etanol, acetato de etilo y agua (Escribano-Bailón & Santos-Buelga, 2003). Asimismo, infusiones en agua caliente y tratamientos en etanol lograron extraer fenoles a un nivel de 32.12 y 167.8 mg GAE/g de cáscara respectivamente (Do Prado et al., 2014). Adicionalmente, Fernández-Agulló et al., (2013) reportaron que en la cáscara de nuez verde sometida a varios tratamientos como: infusión con agua, metanol, etanol y mezclas hidroalcohólicas; la extracción etanol-agua al 50 % obtuvo los mejores rendimientos en el contenido de fenoles totales, y la infusión con agua obtuvo el mayor rendimiento de extracción.

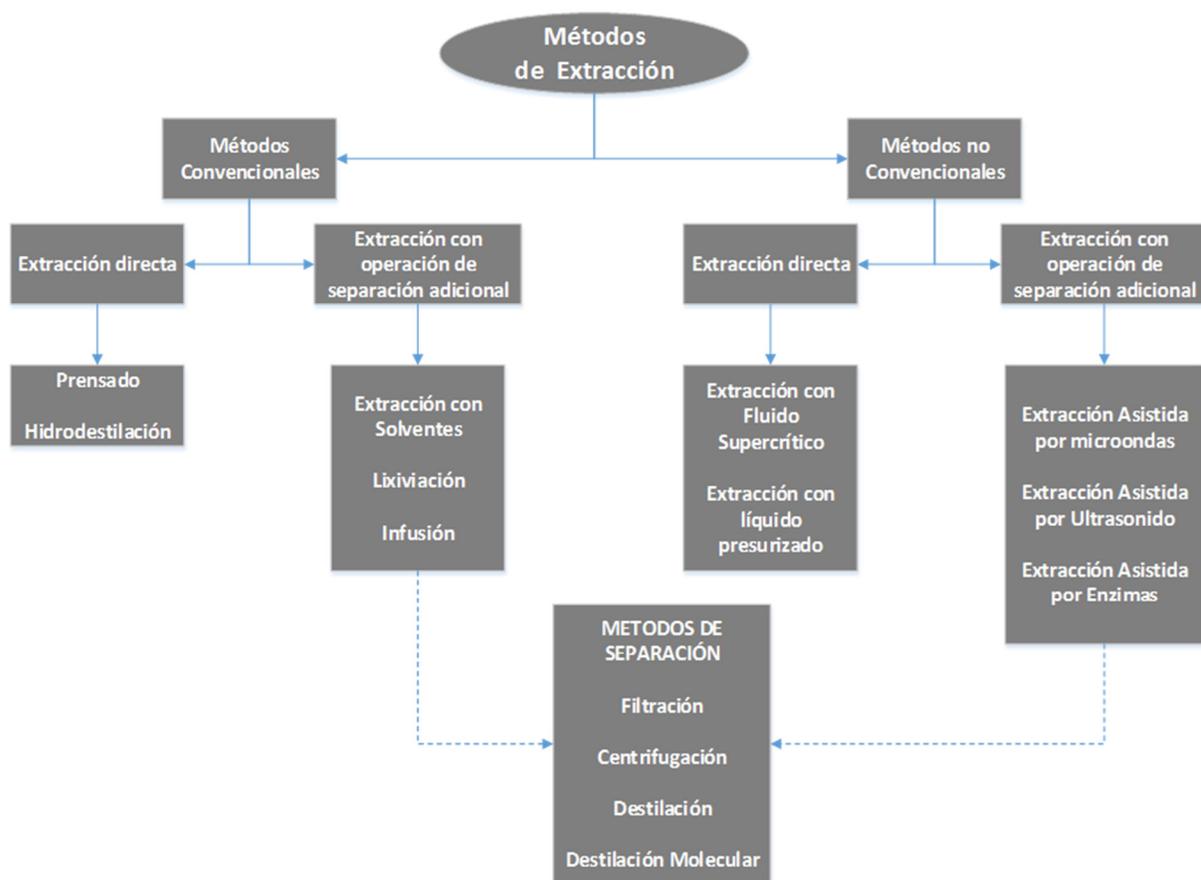


Figura 2-1 Clasificación de las técnicas de extracción y separación de compuestos bioactivos.

Tecnologías No Convencionales de Extracción de Biocompuestos.

Recientemente se han reportado una serie de tecnologías de extracción novedosas, que están siendo exploradas para la obtención de compuestos bioactivos a partir de numerosos materiales, así como residuos agroindustriales, con resultados prometedores. Estas incluyen la extracción asistida por enzimas (EAE), la extracción asistida por microondas (EAM), la

extracción asistida por ultrasonido (EAU), extracción con líquido a presión (ELP) y extracción con fluidos supercríticos (EFS), (Kadam et al., 2013). Cabe destacar que estas metodologías se han evaluado en algunas oleaginosas, sin embargo, con excepción de EFS no han sido estudiadas en nuez pecanera. A continuación se describen los fundamentos de estos métodos y algunas ventajas y desventajas que exhiben.

Extracción asistida por enzimas

Como se indica, se basa en el uso de enzimas como carbohidratasas y proteasas con el fin de romper la pared celular y liberar el bioactivo deseado; esta tecnología es amigable con el medio ambiente ya que no es tóxica y elimina el uso de disolventes en el proceso además, presenta alto rendimiento de extracción y conserva la bioactividad de los compuestos, siendo una tecnología de bajo costo comparada con EFS. Una de las desventajas que presenta es que requiere de una selección de enzimas adecuada y esto depende de la matriz de donde se requiera extraer los compuestos bioactivos (Kadam et al., 2013). En la actualidad no hay reportes del uso de EAE en nuez pecanera.

Extracción asistida con microondas

La extracción asistida por microondas facilita la ruptura celular y aumenta la penetración de disolvente en la matriz, lo que favorece la extracción de compuestos de interés, se considera una opción viable para la extracción de compuestos bioactivos a partir de plantas y hierbas debido a que presenta un menor uso de disolventes, y mejor rendimiento de la extracción es más económica que el uso de fluidos supercríticos. La principal desventaja, al igual que en los procesos convencionales, es la necesidad de procesos adicionales para separar los sólidos y recuperar el solvente, y no es recomendable para bioactivos sensibles al calor. (Roselló-Soto et al., 2015) reportaron la recuperación de numerosos compuestos de alto valor a partir de desechos como hojas y madera en el proceso de obtención del aceite de oliva, estas matrices que se mencionan son similares a la nuez pecanera por lo cual el uso de esta técnica tiene gran potencial.

Extracción asistida por ultrasonido

El mecanismo de extracción asistida por ultrasonido consiste en romper las paredes celulares, la difusión del disolvente a través de la matriz celular y el lavado de los contenidos de la celda, facilitando la liberación de bioactivos. El uso de esta técnica puede representar un aumento en el rendimiento y la cinética más rápida, facilita la extracción de compuestos sensibles al calor, el costo de los equipos es más bajo y se puede utilizar con una amplia variedad de disolventes, al igual que en todas las técnicas donde se utiliza un solvente, requiere un proceso posterior para la eliminación del solvente (Golmohamadi, Möller, Powers, & Nindo, 2013; Roselló-Soto et al., 2015) .

(Vinatoru, 2001) reportó la comparación entre extracción clásica (Soxhlet) y el uso de ultrasonido para aceite a partir de semillas del eneldo, en sus resultados se observó un incremento en el rendimiento de extracción del 13.33% al usar ultrasonido y una reducción del tiempo, aumentando también el porcentaje de limoneno de un 40.79% en la extracción clásica, a un 49.63 % con el uso de ultrasonido. Con esta tecnología, la extracción de aceite a partir de cacahuates también se vio favorecida cuando se usó hexano como solvente. Otros reportes señalaron incrementos en los rendimientos de extracción de aceite de almendra y de extractos de hierbas como el hinojo, lúpulo, caléndula y menta, por encima del 30 % (Vilkhu, Mawson, Simons, & Bates, 2008).

Extracción con líquido presurizado

En este método el solvente es llevado a alta temperatura y a alta presión con la finalidad de mantenerlo en estado líquido, sin llegar al punto crítico, esto genera el aumento de la solubilidad y la tasa de transferencia de masa. Los llamados fluidos subcríticos pueden variar desde CO₂ líquido a agua subcrítica (ASC). ASC es medio de extracción muy eficaz para solutos muy polares, tales como flavonoides, azúcares y compuestos polifenólicos. Es necesario un proceso posterior para eliminar el agua de los compuestos extraídos (Kadam et al., 2013; King, 2014).

Roselló-Soto (2015) en su investigación reportaron la recuperación de diversos compuestos de alto valor a partir de los desechos (hojas y madera) en el proceso de extracción de aceite de oliva. En la actualidad no hay reportes del uso de ELP en nuez pecanera.

Extracción con Fluido Supercrítico

Se trata de una extracción líquido - líquido o sólido - líquido en donde se incrementa la presión y la temperatura de un líquido o un gas hasta llegar al punto crítico, generando un fluido supercrítico. En esta tecnología, la variación de las condiciones de extracción permite el fraccionamiento de los extractos para producir una composición deseada o enriquecimiento de ciertos compuestos (Marcilla-Gomis, 1998).

En la Figura 2-2 se muestra el esquema general para un equipo de extracción con CO₂ supercrítico, el cual consta de un tanque de CO₂, un recipiente para el cosolvente, bombas de dosificación y alimentación, un intercambiador de calor, la columna de extracción, el separador y un condensador.

Entre las ventajas destacan que los compuestos bioactivos pueden ser extraídos con una pérdida mínima de volátiles; ofreciendo una extracción rápida y altos rendimientos, siendo amigable con el medio ambiente, ya que usa un mínimo de solventes o prescinde de ellos. Además este método ha demostrado ser una técnica innovadora y económica, con la capacidad de obtener compuestos con un alto grado de elevada pureza sin producir la degradación térmica de los mismos. Sin embargo, en algunos casos en donde el CO₂ muestra poca solubilidad por el

compuesto de interés siendo necesario el uso de cosolventes en pequeñas cantidades. El cosolvente que con mayor frecuencia es utilizado es el etanol, debido a que la presencia de trazas al final del proceso no compromete su uso en aplicaciones nutracéuticas o cosméticas (King, 2014; Reverchon & De Marco, 2006).

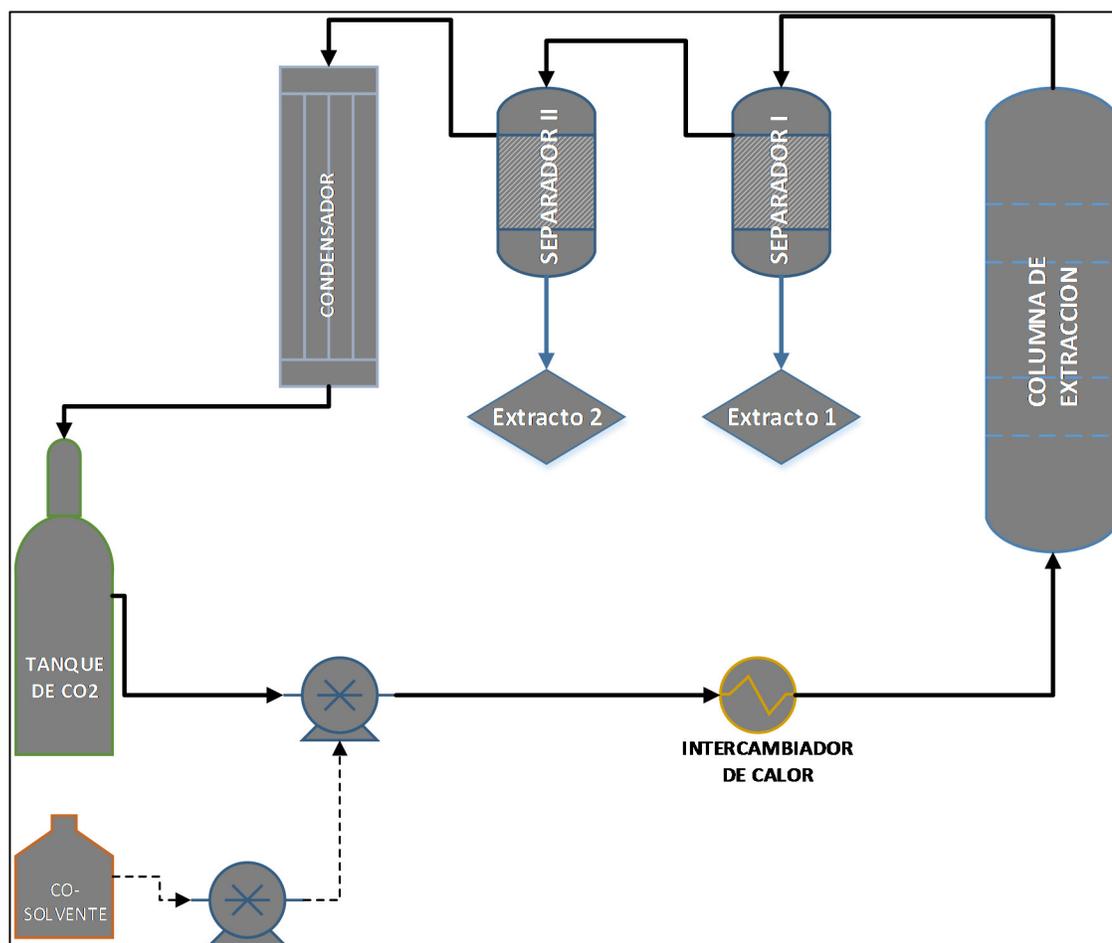


Figura 2-2 Esquema para un equipo de extracción con CO₂ supercrítico.

A continuación se señalan algunas aplicaciones de la tecnología de fluido supercrítico en la obtención de aceites y fitocompuestos a partir de nuez pecanera. En este sentido, (Santos et al., 2012) evaluaron las propiedades fisicoquímicas en la extracción de aceite de nuez de Brasil comparando su obtención por prensado, extracción con éter de petróleo, hexano y fluido supercrítico. Asimismo, (Velasco, Villada, & Carrera, 2007) reportaron el uso de fluido supercrítico para la extracción de aceite a partir de la nuez moscada (*Myristica fragans* H.), y para la obtención un extracto con actividad antioxidantes a partir de la cascara de pistacho (*Pistachia vera*), los cuales son matrices semejantes a la nuez pecanera. En otros resultados, (Do

Prado et al., 2014) indicaron que las extracciones con fluido supercrítico obtiene mayor rendimiento a 200 bar en comparación con el obtenido a 100 bar.

Hasta el momento el uso de fluido supercrítico es la única técnica no convencional reportada para extracción de compuestos bioactivos de la nuez pecanera, dejando un amplio campo en la investigación y aplicación de estas tecnologías en la obtención de metabolitos de interés con distintas aplicaciones.

En la Tabla 2-1 se muestra un comparativo de las diferentes técnicas, describiendo de manera general el sistema, el costo de la inversión, principales condiciones como uso de solvente, tiempo de extracción y tamaño de muestra, así como las ventajas y desventajas que presenta cada una de ellas.

Destilación molecular

La destilación molecular o destilación de camino corto es una tecnología adecuada para la separación, purificación y/o concentración de sustancias termolábiles con baja presión de vapor. Se lleva a cabo a muy alto vacío en un equipo construido de tal modo que la distancia recorrida por las moléculas entre las superficies de evaporación y condensación es más corta que el recorrido libre medio de sus moléculas (Pramparo, Prizzon, & Martinello, 2005).

El destilador está equipado con rodillos giratorios de velocidad variable. El sistema de vacío está compuesto por una bomba difusora y una bomba mecánica, capaz de alcanzar un vacío máximo de 10^{-3} mbar, con una alimentación máxima de 0,5 kg/h. Un esquema de este equipo se muestra en la Figura 2-3.

Para llevar a cabo separaciones en el destilador molecular se recomienda evaluar primero la operación a nivel laboratorio, y si resultan satisfactorias las pruebas se hacen los cálculos de balance de masa sobre el compuesto que se desea purificar. Se determinan los parámetros de flujo de alimentación, temperatura de alimentación, velocidad de agitación y presión de vacío.

Los aceites cuando se presan o se extraen de tejidos animales o vegetales como la nuez, usualmente contienen los siguientes tipos de materiales: (1) fosfolípidos y materia mucilaginosa; (2) ácidos grasos libres; (3) sustancias de sabor y olor; (4) materia insaponificable, incluyendo esteroides, vitaminas, antioxidantes, y otros alcoholes, ésteres e hidrocarburos; (5) triglicéridos. Los datos de destilación presentados en un trabajo de investigación mostraron que la destilación molecular elimina eficientemente los ácidos grasos libres y los componentes insaponificables del aceite. Algunas sustancias como la vitamina K, ésteres de esteroides, y otros, pueden ser también separados (Embree, 1941).

En una solicitud de patente reciente (Shinde, Ventre, Lloyd-Randolfi, & Lamont, 2016) se describen procedimientos para producir ésteres de ácido palmitoleico de alta pureza a partir de aceite de nueces. Los métodos de procesamiento del aceite natural comprenden transesterificación con etanol como disolvente de reacción para producir ésteres etílicos.

También se describen métodos para producir una fracción de pureza elevada de ésteres de ácidos grasos Omega-3, 6 y 9 a partir de aceites naturales. Los ésteres de ácidos grasos de alta pureza pueden usarse en productos nutricionales, cosméticos y nutracéuticos.

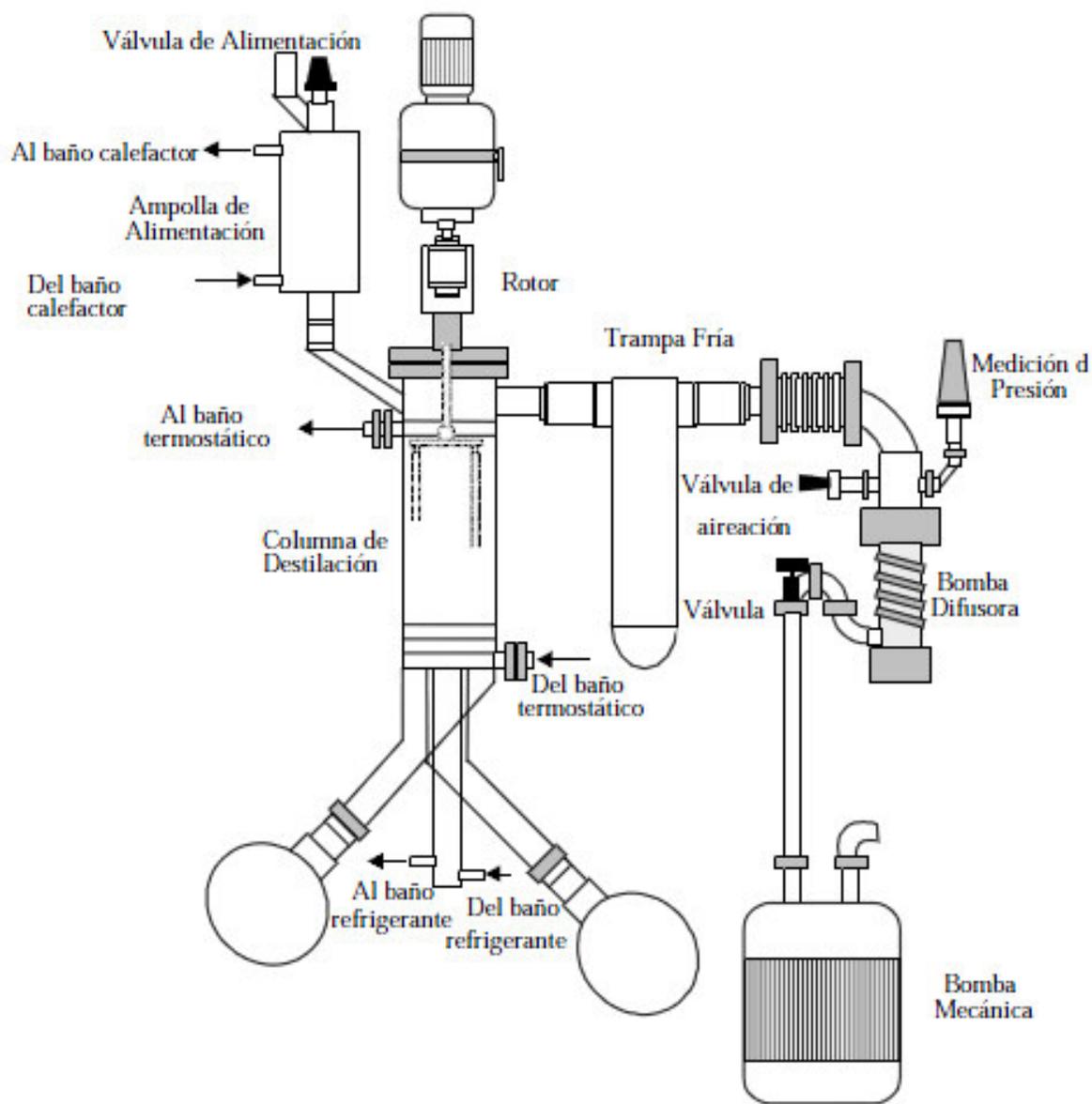


Figura 2-3 Esquema del Destilador Molecular

Tabla 2-1 Comparación de algunos métodos de extracción de compuestos bioactivos.

Técnica	Extracción con Solvente	Asistida con Ultrasonido	Asistida con Microondas	Extracción con liquido presurizado	Extracción con Fluido Supercrítico
Descripción	La muestra se sumerge en solvente, se puede aplicar temperatura o a temperatura ambiente	La muestra se somete a ultra sonido usando una sonda o un baño ultrasónico	La muestra con y sin disolvente y se somete a energía Microondas	La muestra se extrae a alta presión y temperatura.	La muestra se somete a alta presión haciendo pasar continuamente el fluido supercrítico
Inversión	Baja	Baja	Moderada	Alta	Alta
Facilidad Operación	Fácil de usar	Fácil de usar	Fácil de usar	Fácil de usar	Fácil de usar
Uso de solvente	50 - 1000 mL por extracción	50-200 mL por extracción	0-50 mL por extracción	15-60 mL por extracción	2-5 mL (en la trampa de solidos)
Tamaño de muestra	1- 20 g	1-100 g	1-30 g	1-30 g	1-1000 g
Tiempo de extracción	Hasta 4 horas	10-60 min	3-30 min	10-20 min	10-20 min
Principales desventajas	Gran volumen de solvente. Requiere filtración. Degradación de analitos termolábiles	Gran volumen de solvente. Requiere un paso de filtración adicional	El solvente debe absorber la energía de Microondas, Requiere paso de filtración adicional	Posible degradación de los analitos termolábiles	Dificultad para extraer moléculas polares sin añadir modificadores al CO ₂ .
Principales ventajas	Fácil de usar, sumamente accesible a nivel laboratorio	Fácil de usar, Extracción rápida, Bajo consumo de energía	Extracción rápida, fácil de manejar, sin disolventes o consumo moderado	Extracción rápida, no requiere filtración, bajo consumo de disolventes	Extracción rápida, sin filtración necesaria, sin consumo de solventes

Fuente: Adaptado de Chemat y Cravotto (2011)

Métodos para la identificación y cuantificación de fitocompuestos.

Métodos Convencionales

La separación y cuantificación de los principales grupos de polifenoles en la almendra y cáscara de nuez bien sea los compuestos flavonoides, fenólicos totales y taninos; así como tocoferoles, fitosteroles o bien carotenoides, etc. presentes, requiere de métodos altamente sensitivos y selectivos (Ignat, Volf, & Popa, 2011). Comúnmente, las pruebas espectrofotométricas y cromatográficas se han utilizado. La cuantificación de los diferentes grupos de polifenoles se ha realizado por técnicas espectrofotométricas debido a su simplicidad y bajo costo (Ignat et al., 2011). De esta manera, el contenido de fenoles totales se ha realizado espectrofotométricamente para extractos de almendra, cáscara e incluso aceite de nuez pecanera previamente disueltos en metanol añadiendo el reactivo de Folin-Ciocalteu y leyendo a 760 nm, utilizando ácido gálico como estándar, y expresando los resultados como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra fresca (mgGAE/g MF)(Costa-Singh & Jorge, 2015; De La Rosa, Alvarez-Parrilla, & Shahidi, 2011; do Prado et al., 2013).

Por otra parte, el total de flavonoides presentes en cáscara, y almendra de nuez pecanera, puede ser determinado usando también un método colorimétrico basado en el acomplejamiento de los grupos fenólicos con Al (III), y determinando la absorbancia a 510; mientras que la cuantificación de taninos condensados o proantocianidinas se estima mediante la prueba de la vainillina a 500 nm. Tanto para la determinación de flavonoides totales como taninos condensados utilizan catequina como estándar, y en ambos casos los resultados se expresan en miligramos de catequina equivalentes por gramo de muestra fresca (mg EC/gMF) (De La Rosa et al., 2011).

Las técnicas cromatográficas se han utilizado consistentemente para separación y cuantificación de polifenoles. En el caso de la nuez pecanera destaca el trabajo de identificación y cuantificación de varios compuestos fenólicos a partir de la cascara por Cromatografía Líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas con ionización por electrospray (HPLC-ESI-MS) reportado por (De la Rosa, Alvarez-Parrilla, & Shahidi, 2011). Entre los compuestos reportados destacan el ácido elágico, ácido gálico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido protocatecuico, entre otros.

Esta identificación se realizó mediante el análisis de extractos directos en acetona, y obtenidos por hidrólisis con ácido utilizando un sistema de HPLC de Agilent 1100 (Agilent Technologies, Mississauga, ON, Canadá), la separación se consiguió en una columna de fase reversa Supercosil LC-18 (tamaño de partícula de 5µm, 25cm x 4,6 mm i.d., Sigma - Aldrich Canada Ltd., Oakville, ON, Canadá) a temperatura ambiente, utilizando una fase móvil binaria (disolvente A, acetonitrilo al 5% de etanol, disolvente B, ácido fórmico al 1% en agua), las longitudes de onda de detección se fijaron en 254 y 280 nm y los datos espectrales se recogieron de 240 a 550 nm. Los análisis se realizaron en el modo de detección de iones negativos. Los

espectros de MS se registraron en el intervalo de m/z 100-1000.

Adicionalmente, existen otros métodos cromatográficos que pueden ser utilizados en la cuantificación e identificación de fitocompuestos de nuez pecanera, pero que hasta donde se ha revisado algunos han sido poco utilizados. Entre ellos se encuentran: cromatografía en contra corriente de alta velocidad, cromatografía de gases, cromatografía en capa fina, así como los métodos de electroforesis, espectrometría de masas y espectroscopía en el infrarrojo cercano (Ignat et al., 2011).

Métodos ópticos no destructivos

Entre los métodos ópticos destacan el de fluorescencia inducida por láser y espectroscopia Raman, con los cuales además de caracterizar los materiales en forma no destructiva, se puede realizar la detección de adulteraciones en alimentos y bebidas, y también el análisis comparativo de muestras orgánicas e inorgánicas para control de calidad. Entre las ventajas de la aplicación de estas técnicas se encuentran: ambos son métodos no invasivos no se requiere acondicionamiento o preparación de muestras, no se utilizan reactivos tóxicos, se obtienen resultados en tiempo real, son apropiados para usarse en línea de producción en plantas procesadoras y es posible el análisis simultáneo de varios compuestos.

Fluorescencia Inducida por Láser (LIF)

La interacción de la radiación con la materia puede causar la redirección de la radiación y/o inducir transiciones entre niveles de energía de los átomos o moléculas. Una transición desde un nivel inferior a un nivel superior con transferencia de energía desde el campo de radiación al átomo o molécula es llamada absorción. Una transición desde un nivel superior a un nivel inferior se llama emisión (fluorescencia y/o fosforescencia).

LIF es del rango UV-Visible, y consiste en que, las moléculas que son excitadas por un láser a niveles más altos de energía pueden decaer a niveles más bajos emitiendo radiación, involucrando transiciones entre estados electrónicos. La intensidad de emisión de una sustancia es linealmente proporcional a la concentración del analito a bajas concentraciones, por lo que, la fluorescencia molecular es útil para cuantificar compuestos emisores de radiación. Generalmente, fluorescen las sustancias que tienen muchos dobles enlaces conjugados tales como las moléculas orgánicas y los compuestos aromáticos.

Durante los últimos años, las investigaciones en análisis espectrales de fluorescencia han sido principalmente enfocadas en los cambios de la fluorescencia de la clorofila en frutos. Wulf et al., (2008) aplicaron la fluorescencia inducida por láser para realizar mediciones no destructivas de fluorescencia en frutos de fresa para la cuantificación de compuestos fenólicos en dichos frutos. Asimismo, un nuevo método basado en espectroscopia de fluorescencia para la identificación y cuantificación de aceites vegetales ha sido propuesto (Xu, Liu, & Wang, 2016).

Los espectros de fluorescencia inducida por láser obtenidos directamente de nuez pecana, cáscara y aceite se muestran en la Figura 2-4, en donde para nuez y aceite mostraron una forma muy similar con un máximo de fluorescencia a 495 nm. Esta fluorescencia es característica de compuestos fenólicos, la cual también está presente en la cáscara de nuez pecanera pero en menor intensidad. Por otro lado, el espectro de la cáscara muestra un máximo a 444 nm el cual también está presente en el espectro de la nuez, indicando un compuesto fenólico en común.

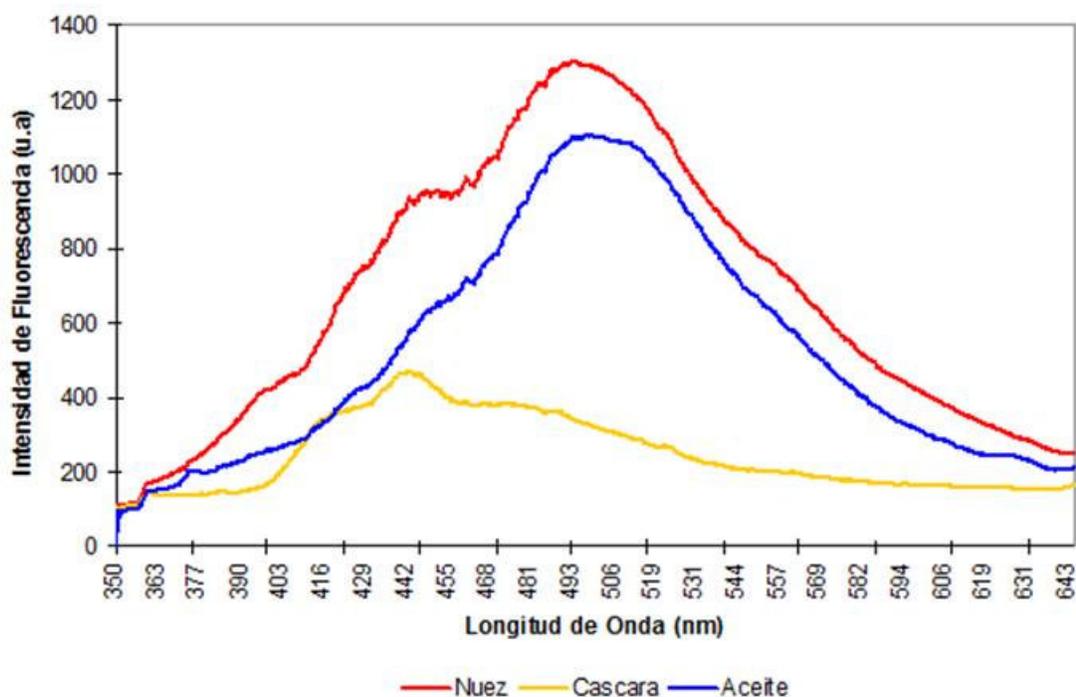


Figura 2-4 Espectros de Fluorescencia Inducida por Láser de Nuez, Cáscara y Aceite intactos.

Espectroscopia Raman

A la redirección de la luz debido a su interacción con la materia se le llama esparcimiento, y puede ocurrir con o sin transferencia de energía, cuando la luz esparcida tiene la misma longitud de onda se le llama esparcimiento de Rayleigh, y cuando tiene diferente longitud de onda se le llama esparcimiento de Raman (Hollas, 2004). La espectroscopia Raman es del rango UV-NIR, se basa en el esparcimiento inelástico, y hay un pequeño cambio de la frecuencia de la luz que interactúa con la materia, a este esparcimiento se le conoce como esparcimiento de Raman: la frecuencia de la luz sufre un corrimiento con respecto a la frecuencia de excitación, pero la magnitud del corrimiento es independiente de la frecuencia de excitación, y es una propiedad intrínseca de la muestra (Carmona, Lafont, Jiménez-Sanchidrián,

& Ruiz, 2014) han reportado que la espectroscopia Raman puede usarse para distinguir entre diferentes aceites comestibles. (Pan et al., 2010) reportaron que la espectroscopia Raman es una versátil técnica ya que al igual que LIF, no se necesita preparar la muestra y proporciona un método no destructivo. Ellos analizaron diferentes tipos de aceite de nuez usados como capas protectoras de monumentos.

En la Figura 2-5 se muestran los espectros Raman de estas mismas muestras. En el espectro del aceite se pueden identificar picos a 1443 y 1657 cm^{-1} los cuales corresponden a los ácidos grasos saturados e insaturados respectivamente. Los espectros Raman de nuez, cáscara, y solución acuosa muestran fluorescencia de fondo, la cual es ruido al analizar la técnica Raman, sin embargo se pueden distinguir algunos picos en común lo cual nos indica compuestos característicos de las muestras

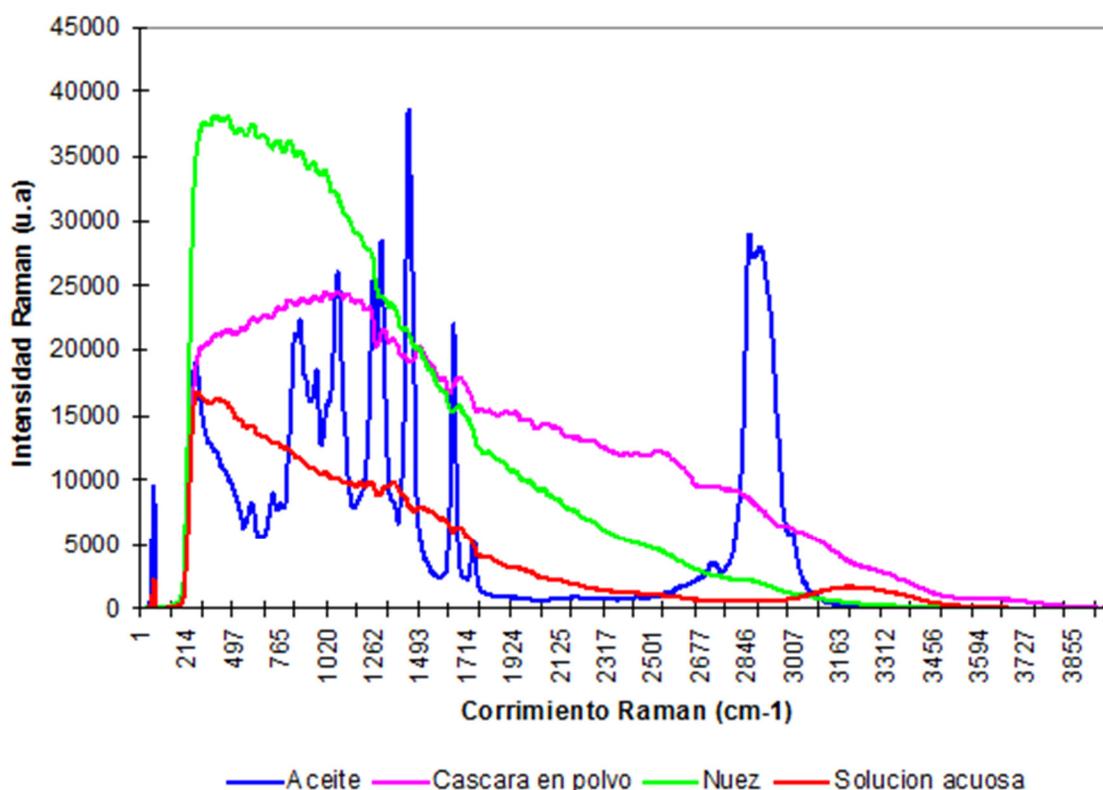


Figura 2-5 Espectros Raman de nuez, cáscara, aceite y solución acuosa.

Conclusiones.

Dada la elevada demanda del mercado mundial y nacional de fitocompuestos e ingredientes funcionales las potencialidades de la nuez y subproductos en la obtención de estos

compuestos representa una oportunidad para su aprovechamiento, y un reto tecnológico que orienta a la investigación de procesos innovadores que además de optimizar, economizar y facilitar la obtención de moléculas de alto valor agregado, considerando ahorros energéticos sin impactar el medio ambiente. Estos procesos deben de incluir aspectos analíticos que permitan una valorización, caracterización y aplicación adecuada en las diferentes aplicaciones, considerando aspectos de funcionalidad biológica e impacto en la salud del consumidor.

Prospectiva tecnológica para la agroindustria de la nuez

Si consideramos a la prospectiva como un estudio dinámico de construcción social inherente a la actividad agrícola, integrado por un paquete tecnológico que contempla la tecnología de producto, tecnología de equipo, tecnología de proceso, tecnología de operación y tecnología organizacional, que permite desarrollar las capacidades tecnológicas necesarias para resolver un problema concreto o satisfacer una necesidad; la prospectiva tecnológica para la agroindustria de la nuez contribuiría a la competitividad sostenible del sistema producto-nuez mediante una visión sistémica buscando interrelacionar todos los actores de la cadena productiva que se vea reflejado en una mayor participación y vinculación con enfoque a mercado.

Por mencionar algunas cadenas de importancia en nuestro país y con problemáticas en I+D se encuentran: cítricos, agave, mezcal, caña, maíz, chile, café, miel, berries, aguacate, mango, durazno, etc. donde cada uno de estos sistemas impactan de manera importante a la economía y generación de empleos de nuestro país. Tan solo la agroindustria en México contribuye con un 30% del PIB, donde el sector agroalimentario representa cerca del 12% del PIB.

Para atender el potencial de crecimiento de los productos finales de la agroindustria, se tiene que analizar mediante un mapeo de ruta y/o tecnológico las macro-tendencias del mercado, así como los hábitos de consumo, de tal forma que para un proyecto agroindustrial de la nuez se cuente con una visión de mediano y largo plazo que va más allá de los problemas inmediatos y urgentes del productor. Esta visión del futuro es fundamental para diseñar las estrategias de investigación en el tema de la agroindustria.

El producto innovador tiene que estar alineado al mercado objetivo y cumplir requerimientos adicionales que cada segmento puede exigir tales como: la sustentabilidad, larga vida de anaquel, precio, disponibilidad, etc. Otros componentes igualmente importantes son: el empacar, distribuir y promover adecuadamente el producto para motivar al consumidor.

Para lograr mejores resultados en la creación de valor a partir de la nuez se deberá aprovechar y optimizar la plataforma científica y tecnológica de los Centros Públicos de Investigación como el CIATEJ para la generación y adaptación de conocimiento que permita un mayor impulso y crecimiento de la agroindustria en México.

Con la participación activa de los diferentes actores de la cadena productiva, es posible diseñar estrategias adecuadas de investigación y alianzas público-privadas para la innovación tecnológica, que contribuyan a la competitividad sostenible del sistema agroindustrial de la nuez.

Este esquema con visión integral generará nuevas alianzas para proponer y ejecutar proyectos estratégicos agroindustriales de impacto regional y/o nacional articulando así la participación de industria, academia y gobierno para el fortalecimiento de las diferentes etapas de un sistema productivo, incluyendo cultivo, manejo poscosecha, empaque, generación de valor agregado y comercialización.

Referencias.

- Carmona, M. Á., Lafont, F., Jiménez-Sanchidrián, C., & Ruiz, J. R. (2014). Raman spectroscopy study of edible oils and determination of the oxidative stability at frying temperatures. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(11), 1451–1456. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400127>
- Chemat, F., & Cravotto, G. (2011). Combined Extraction Techniques. In Farid Lebovka, Nikolai Vorobie, & Eugene Chemat (Eds.), *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry* (pp. 173–194). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11241-7>
- Costa-Singh, T., & Jorge, N. (2015). Characterization of *Carya illinoensis* and *Juglans regia* oils obtained by different extraction systems. *Acta Scientiarum. Technology*, 37(2), 279. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i2.25033>
- de la Rosa, L. a., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Kernels and Shells of Mexican Pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 152–162. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- De La Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- Do Prado, A. C. P., a Silva, H. S., da Silveira, S. M., Barreto, P. L. M., Vieira, C. R. W., Maraschin, M., ... Block, J. M. (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Industrial Crops and Products*, 52, 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.031>
- do Prado, A. C. P., da Silva, H. S., da Silveira, S. M., Barreto, P. L. M., Vieira, C. R. W., Maraschin, M., ... Block, J. M. (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Industrial Crops and Products*, 52, 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.031>
- do Prado, A. C. P., Manion, B. A., Seetharaman, K., Deschamps, F. C., Barrera Arellano, D., & Block, J. M. (2013). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. *Industrial Crops and Products*, 45, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.042>
- Embree, N. D. (1941). The separation of natural components of fats and oils by molecular distillation. In *Symposium on the Molecular Structure of Fats and Oils* (pp. 317–332). St. Louis, Missouri: 101st Meeting of the American Chemical Society. Retrieved from <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/cr60093a008>
- Escribano-Bailón, M. T., & Santos-Buelga, C. (2003). Polyphenol Extraction from Foods. In C. Santos-Buelga & G. Williamson (Eds.), *Methods in Polyphenol Analysis* (pp. 1–16).

Retrieved from <http://www.globalspec.com/reference/70419/203279/chapter-1-polyphenol-extraction-from-foods>

- Fernández-Agulló, A., Pereira, E., Freire, M. S., Valentão, P., Andrade, P. B., González-Álvarez, J., & Pereira, J. A. (2013). Influence of solvent on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts. *Industrial Crops and Products*, 42(November), 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.021>
- Golmohamadi, A., Möller, G., Powers, J., & Nindo, C. (2013). Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1316–1323. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.020>
- Hollas, J. M. (John M. (2004). *Modern spectroscopy*. Wiley. Retrieved from <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470844167.html>
- Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>
- INNCOM. (2015). *Técnicas de Extracción y Separación de Compuestos Bioactivos y Conservación de Alimentos*.
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2013). Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(20), 4667–75. <https://doi.org/10.1021/jf400819p>
- King, J. W. (2014). Modern supercritical fluid technology for food applications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5, 215–38. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092447>
- Kornsteiner, M., Wagner, K.-H., & Elmadfa, I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98(2), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033>
- Marcilla-Gomis, a. (1998). *Introducción a las operaciones de separación: Cálculo por etapas de equilibrio*.
- Martínez, M. L. (2014). *Extracción y caracterización de aceite de nuez (Juglans regia L.): influencia del cultivar y de factores tecnológicos sobre su composición y estabilidad oxidativa*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Retrieved from <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/2561>
- Miraliakbari, H., & Shahidi, F. (2008). Antioxidant activity of minor components of tree nut oils. *Food Chemistry*, 111(2), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.008>
- Pan, A., Rebollar, E., Chiussi, S., Serra, J., González, P., & León, B. (2010). Optimisation of Raman analysis of walnut oil used as protective coating of Galician granite monuments. *Journal of Raman Spectroscopy*, 41(11), 1449–1454. <https://doi.org/10.1002/jrs.2686>

- Parson, W. W. (2009). Raman Scattering and Other Multiphoton Processes. In *Modern Optical Spectroscopy* (pp. 417–445). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37542-5_12
- Pramparo, M., Prizzon, S., & Martinello, M. A. (2005). Estudio de la purificación de ácidos grasos, tocoferoles y esteroides a partir del destilado de desodorización. *Grasas Y Aceites*, 56(3), 228–234.
- Reverchon, E., & De Marco, I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>
- Roselló-Soto, E., Koubaa, M., Moubarik, A., Lopes, R. P., Saraiva, J. a., Boussetta, N., ... Barba, F. J. (2015). Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 45, 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.003>
- Santos, O. V., Corrêa, N. C. F., Soares, F. a. S. M., Gioielli, L. a., Costa, C. E. F., & Lannes, S. C. S. (2012). Chemical evaluation and thermal behavior of Brazil nut oil obtained by different extraction processes. *Food Research International*, 47(2), 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.038>
- Shinde, S., Ventre, S., Lloyd-Randolfi, J., & Lamont, M. (2016). Isolation of omega-7 fatty acid ethyl esters from natural oils. Gilbert, AZ (US). Retrieved from <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=2016256503A1&KC=A1&FT=D>
- Velasco, R. J., Villada, H. S., & Carrera, J. E. (2007). Aplicaciones de los fluidos supercríticos en la agroindustria. *Informacion Tecnologica*, 18(1), 53–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642007000100009>
- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., & Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014>
- Villarreal-Lozoya, J. E., Lombardini, L., & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] cultivars. *Food Chemistry*, 102, 1241–1249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.024>
- Vinatoru, M. (2001). An Overview of the Ultrasonically Assisted Extraction of Bioactive.Pdf. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8, 303–313.
- Vorobiev, E., & Lebovka, N. (2011). *Enhancing Extraction Processes in the Food Industry*. <https://doi.org/10.1201/b11241>
- Wulf, J. S., Rühmann, S., Rego, I., Puhl, I., Treutter, D., & Zude, M. (2008). Nondestructive Application of Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy for Quantitative Analyses of

Phenolic Compounds in Strawberry Fruits (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(9), 2875–2882. <https://doi.org/10.1021/jf072495i>

Xu, J., Liu, X.-F., & Wang, Y.-T. (2016). A detection method of vegetable oils in edible blended oil based on three-dimensional fluorescence spectroscopy technique. *Food Chemistry*, 212, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.158>

Capítulo 3 Oportunidades tecnológicas para la nuez en el sector alimenticio

Ángela Suarez Jacobo y Evaristo Urzúa Esteva

Introducción

En los últimos años México ha tenido un acelerado crecimiento en la producción de nuez pecanera, la cual en su mayoría es exportada a los Estados Unidos dejando una derrama económica positiva de más de US \$300 millones de dólares en el 2015. Sin embargo, la mayor parte se exporta con una baja o nula transformación, constituyendo un área de oportunidad para el incremento del valor agregado del sistema nuez pecanera a nivel nacional.

El documento fue elaborado con base en información actualizada de bases de datos científicas y tecnológicas, con el fin de presentar al lector los principales pasos de post-cosecha a los que es sometida la nuez pecanera y los principales atributos de calidad de importancia económica; también se presenta información de análisis de mercado que permite identificar la tendencia en el uso de la nuez pecanera en diversos productos en los últimos cinco años; finalizando con la identificación de áreas de oportunidad con alto potencial para la nuez pecanera.

El documento pretende contribuir al análisis de las áreas de oportunidad tecnológicas que la enorme producción de nuez pecanera brinda a la región norte de México, para mejorar su competitividad, incrementar su derrama económica y apalancar el desarrollo regional.

Ángela Suárez Jacobo, Dr.
Tecnología Alimentaria, CIATEJ unidad Noreste
asuarez@ciatej.mx

Evaristo Urzúa Esteva, M.A.
Vinculación y Transferencia de Tecnología, CIATEJ unidad Guadalajara
eurzua@ciatej.mx

Post-cosecha y oportunidades tecnológicas para diversificar los mercados de la nuez en el sector alimenticio

El desarrollo de las cadenas productivas es una de las vías más influyentes para el desarrollo del sector primario, al impactar positivamente sobre la población que se encuentra en el medio rural, permitiendo realizar actividades económicas sostenibles y competitivas para impulsar la generación de riqueza y permitir el bienestar social. La nuez pecanera, fruto del nogal pecanero de origen americano, nativo del norte de México y sur de Estados Unidos, mantiene una producción de 122 mil toneladas anuales en México y una superficie total de más de 112 mil hectáreas y con un valor por encima de los 8 mil millones de pesos, colocando así, a México, como el segundo país productor a nivel mundial. Las primeras plantaciones comerciales se iniciaron a partir de 1871, y la introducción pionera de plantaciones comerciales en México se hizo en 1904, en el estado de Nuevo León (Orona-Castillo et al., 2013). Actualmente, Chihuahua, es el estado de mayor producción localizada en los siguientes municipios con mayor superficie plantada con nogales: Jiménez, Camargo, Allende, Buenaventura y Aldama (SAGARPA, 2016).

La producción de nuez pecanera a nivel mundial es claramente liderada por México y Estados Unidos, los cuales alcanzan un 93 % de la producción total. En 2014, la producción de nuez sin cáscara fue de 60,185 y de 40, 823 toneladas métricas respectivamente, seguido por Sudáfrica con 5,724 y Australia con 1,080 toneladas métricas (International Nut & Dried Fruit Council, 2015).

El esquema nacional del sistema producto nuez permite caracterizar los diferentes eslabones y sus elementos diferenciadores, así como, los mecanismos de interacción en términos de mercado. Cada eslabón es una actividad completa de mercado en términos de realización del valor agregado, mediante un proceso de transformación productiva concretizada en el mercado. La cadena productiva de la nuez pecanera, inicia con un primer eslabón que es la producción del nogal, dependiente del cuidado del hombre por ser de riego, la ubicación de los municipios productores, proveedores de insumos y servicios, los eslabones de transformación, la transformación y el acondicionamiento de artesanal ó industrial, para finalizar con la etapa de mercado y comercialización (Ver Figura 3-1).

Post-cosecha de la Nuez Pecanera

Las variedades de nuez pecanera incluyen cualquier y todas las variedades o subvariedades del género: *Carya*, Especie: *illinoensis*. Dentro de la nuez pecanera existen dos tipos de variedades: las criollas (aquellas nativas, silvestres o naturalmente propagadas) de tamaño pequeño, con cáscara dura, con alto contenido de aceite y con un bajo porcentaje de almendra; y las variedades finas o de cáscara de papel (mejoradas por injertos criados o seleccionados para los rasgos superiores de tamaño, producción y por su resistencia a plagas y enfermedades) que tienen mayor porcentaje de almendra y con la cáscara más delgada

(Arredondo, 2013). Las variedades comerciales que encontramos en México, se encuentran: las Finas (Wichita, Western Schley, y Fructoso), y de calidad inferior o nativas: Criolla, Mahan, bola, chupon, Bustamante #1 y #2, Borrado de parras y san Antonio, donde todas difieren en tamaño, sabor, textura, aroma, color, y contenido de aceite.

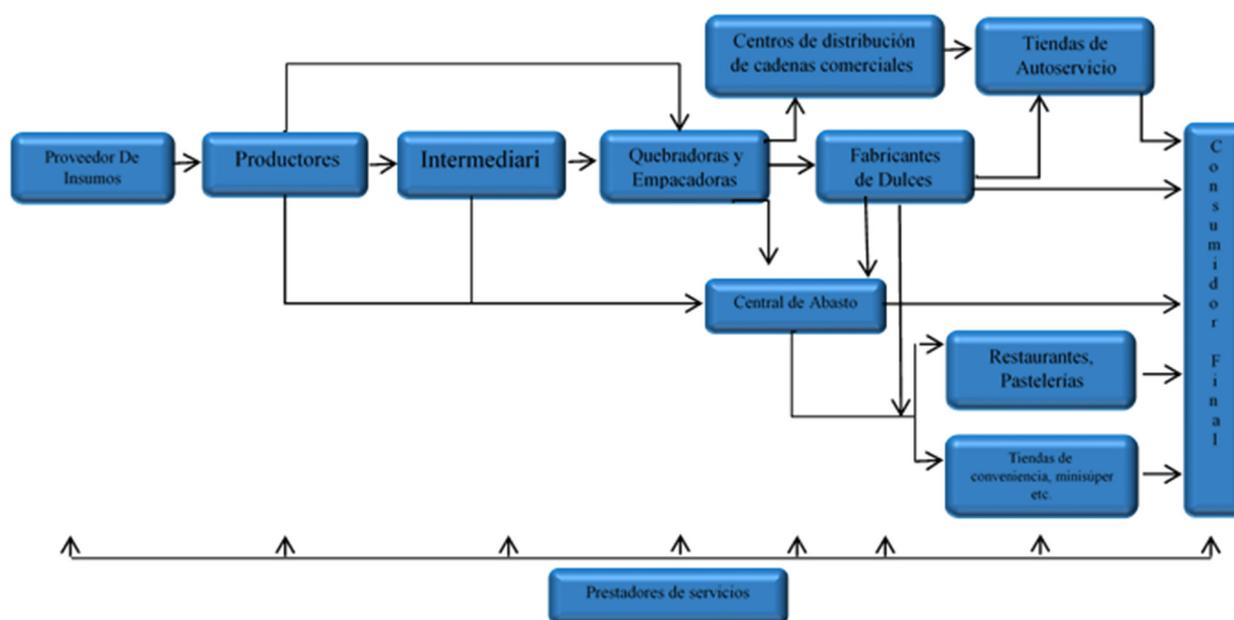


Figura 3-1 Cadena productiva Sistema Producto Nuez. (Comité Estatal del sistema producto Nuez del Estado de Chihuahua, 2012).

Cosecha, Recolección, Descascarado, Desinfección, Selección, Secado y Almacenamiento.

El período de cosecha del cultivo comprende desde la última semana de septiembre a la tercera de noviembre. Las variedades criollas abren el período de cosecha y comprenden desde la tercera quincena de septiembre hasta la primera semana de octubre; continúan enseguida las variedades mejoradas a partir de la segunda semana de octubre y hasta la tercera semana de noviembre, que es cuando finaliza el período (Orona-Castillo et al., 2013). En esta etapa, se utiliza un sacudidor de nogal, mediante el cual los árboles son sacudidos (máquinas que pueden sacudir entre sesenta y ochenta árboles por hora), y las nueces recolectadas tan pronto caen ya que no puede quedarse en el suelo por más de tres días porque la cáscara se oscurece, luego caen sobre una lona o malla para facilitar su transporte.

Posteriormente pasan a un proceso de limpieza y selección de tamaño, según recomienda la FDA (“Food and Drug Administration”), se someten a rigurosos procesos sanitarios para garantizar que el producto sea seguro, se lavan con cloro, con un baño desinfectante caliente cerca del punto de ebullición donde se sumerge la nuez por un tiempo definido y corto para no alterar sus características de calidad o con una combinación de ambos, con la finalidad de destruir bacterias patógenas como la *Escherichia Coli*, seguido de un secado para reducir la humedad. Después de la sanitización, las nueces estarían listas para ser comercializadas como nueces enteras con cáscara en el mercado nacional o de exportación.

La otra alternativa de consumo y demanda de la nuez es obtenerla sin cáscara, para ello se incluye una etapa de cascar el fruto, en donde las nueces son transportadas hacia las prensas que las quiebran mecánicamente y donde se reduce el peso a la mitad, luego de cascarlas, se pasan por orificios de diferentes tamaños donde son clasificadas en base a diferentes categorías, o bien se cortan al tamaño adecuado y luego se secan para reducir la humedad hasta un 4.5% y para mejorar la apariencia, el aroma, el sabor, la textura y mantener la calidad. El proceso de cascado reduce notablemente el riesgo de contaminación con aflatoxinas, *E. coli* y *Salmonella*. (Resultados perfectos con pacanas). A pesar de ello, en 2010, se retiraron nueces sin cáscaras contaminadas con *Salmonella* en Texas, la cual no debe estar presente en almendras de frutos secos comestibles. Otro método que promete ser eficaz para prevenir la contaminación por patógenos en la nuez consiste en exponerlos a radiación ionizante (Karagöz, Moreira, & Castell-Perez, 2014), sin embargo, aún se necesita realizar investigación para determinar las condiciones adecuadas de tratamiento con el fin de conseguir una reducción microbiana de 5-log en las nueces solicitado por la FDA. También, se ha utilizado la radiación gama con dosis de 1 y 3 kiloGray en nueces pecanas observándose que a estas condiciones la nuez mantuvo su contenido de vitamina E original, sin embargo a dosis de 3 kGy afectó adversamente los atributos sensoriales (Taipina, Lamardo, Rodas, & del Mastro, 2009).

Al considerarse un alimento semi-perecedero deben protegerse de la humedad, la luz, la temperatura y el oxígeno durante su almacenamiento de tal forma que preserven su calidad y su valor nutricional deseable para para la industria y su consumo. Una de las principales necesidades de la industria alimentaria es lograr una extensión en el período de almacenamiento en productos comestibles que retengan su calidad. Cuando se mantienen en unas malas condiciones de almacenamiento, se pueden producir cambios de color (oscurecimiento del fruto) y generar cambios en el sabor por la rancidez del aceite que contiene, modificando sus características organolépticas deseadas en los frutos secos. Por lo general, para extender su vida de almacenamiento, la nuez, con o sin cáscara, debe almacenarse en condiciones de refrigeración o bien en congelación usando recipientes herméticos lo cual enlentece procesos enzimáticos derivados de su metabolismo (ver Tabla 3-1).

Dado que la nuez tiene un alto contenido de aceite, taninos oxidables y otros compuestos químicos que reaccionan con el aire, luz, humedad, son fácilmente alterables por el medio ambiente por lo que se necesita un buen sitio de almacenamiento o bien un empaque adecuado. En el caso de un almacenamiento a temperatura ambiente, deberán ventilarse adecuadamente y evitar su almacenamiento en recipientes o bolsas cerradas cuando no se han secado

adecuadamente. Cuando están perfectamente secados, se pueden almacenar en envases plásticos para protegerlos de la humedad, aire, luz, oxígeno, insectos para aumentar su vida de anaquel.

Debido a que las nueces no se comercializan congeladas, las nueces que encontramos comercialmente presentan un cierto grado de rancidez y sabores no deseados ocasionados por procesos enzimáticos (oxidación lipídica), por lo que se están investigando métodos para retardar este proceso, mejorar la calidad de la fruta o bien prescindir del proceso de congelación. En este sentido, (Baldwin & Wood, 2006), evaluó el uso de algunos materiales basados en polisacáridos (derivados de celulosa), plastificantes, surfactantes y antioxidantes para minimizar o reducir la rancidez en las nueces pecanas mantenidas en almacenamiento a temperatura ambiente, donde se minimizó la velocidad de oxidación, mientras se reducen costos y se incrementa la calidad de la nuez para el consumidor.

Tabla 3-1 Condiciones de almacenamiento de la nuez después de la cosecha.

Temperatura de Almacenamiento (° C)	Tiempo promedio	
	Sin cáscara	Con cáscara
21.1	6 meses	3-4 meses
7.2	9 meses	6 meses
0	18 meses	12 meses
-6.6	30 meses	18 meses
-17.8	6-8 años	6-8 años

Fuente: (Picha, 1914).

Oro et al. (2008) evaluó también el uso de una película plástica de nilón-polietileno al vacío y en recipientes plásticos de polipropileno para el almacenamiento de la nuez a temperatura ambiente, durante 150 días. La composición nutricional, en ácidos grasos (62,5 % de ácido oleico) y el contenido de tocoferoles (30 mg/kg de γ -tocoferol) de las nueces pecaneras, indican características nutricionales interesantes. Durante el almacenamiento de las nueces, el contenido de humedad no sufrió cambios significativos, más ocurrió un oscurecimiento gradual y significativo de la superficie de las nueces. En el mismo estudio, se observó que después de 120 días no hubo diferencias entre los dos tipos de envases utilizados cuando fueron evaluados sensorialmente.

El uso de mezclas gaseosas enriquecidas con hasta 99-100 % de CO₂ (Kader, 2002; Shayanfar, Kashaninejad, Khomeiri, Djomeh, & Mostofi, 2011), se ha recomendado para el almacenamiento de los frutos secos, por lo que la utilización de atmósferas modificadas podría ser útil para extender la vida post-cosecha de las nueces pecaneras. De hecho el almacenamiento a <2% de O₂ durante 52 días dio como resultado un sabor afrutado (Santerre, Scouten, & Chinnan, 1990). Dabul (2012), evaluó el uso de distintas mezclas gaseosas a temperatura ambiente sobre la nuez pecanera descascarada para extender la vida post-cosecha, en términos de calidad y cambios en la composición de ácidos grasos, lo que representaría una herramienta valiosa para su conservación, al disminuir el deterioro de los indicadores organolépticos y tener la posibilidad de su consumo a lo largo de todo el año, pues al incrementarse la demanda del producto se genera una mayor necesidad de la capacidad en la producción primaria para satisfacer no solo el mercado nacional sino también el internacional. El envasado al vacío también se puede considerar como un paso adicional de protección. En este punto, será necesario contar con desarrollos y tecnologías económicamente factibles, como los discutidos en esta sección, que permitan la disponibilidad para el almacenamiento del producto que garantice su disponibilidad y calidad en el mercado durante más tiempo.

Atributos de calidad de importancia económica para la nuez pecanera.

Es indiscutible que, en los últimos años la demanda de nuez en México ha aumentado, quizá debido a la exigencia de una dieta más sana causada por el aumento de problemas como la obesidad y la hipertensión y la relación de los antioxidantes presentes naturalmente en las nueces pecaneras que pueden contribuir con la salud cardíaca y la prevención de enfermedades. En un estudio publicado en 2010, por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los EEUU, evaluaron a 277 alimentos distintos mediante el método conocido como Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno (ORAC), descubriendo que la nuez pecanera tuvo la mayor capacidad de antioxidantes entre todas las nueces (Haytowitz & Bhagwat, 2010). La calidad de la nuez pecanera de México alcanza los estándares internacionales, siendo su principal mercado el de los Estados Unidos, el cual compra 89.9% de las exportaciones de éste producto mexicano (SAGARPA, 2016). A continuación se describen algunos aspectos de importancia que determina la calidad y el posicionamiento de la nuez pecanera.

Tamaño

La nuez pecanera se comercializa enteras, en mitades o piezas, las cuales se encuentran en diversos tamaños y colores dependiendo de su variedad. Sin embargo, las nueces más rellenas y las que tienen buen color se consideran de mejor calidad. La clasificación de éstas se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Clasificación por tamaños de nuez pecanera con y sin cáscara para su comercialización.

Categoría	Cantidad: unidades por libra	Cantidad por kilogramo
Entera Jumbo	55 o menos	-
Entera extra Grande	56 a 63	-
Entera Grande	64 a 77	-
Entera Mediana	78 a 95	-
Entera pequeña (96-120)	96 a 120	-
Mitades Mamut	200 a 250	440 a 500
Mitades Mamut junior	251 a 300	551-660
Mitades jumbo	301 a 350	661-770
Mitades extra grande	351-450	771 a 990
Mitades Grandes	451 a 550	991 a 1200
Mitades Medianas	551 a 650	1201 1430
Mitades pequeñas	651 a 800	1431 a 1760
	Tamaño (in)	Tamaño (mm)
Piezas mamut	9/19	14.3
Piezas extra grandes	9/16 y 8/16	14.3 a 12.7
Piezas grandes	8/16 a 6/16	12.7 a 9.5
Piezas medianas/grandes	6/16 y 5/16	9.5 y 7.9
Piezas medianas	5/16 y 4/16	7.9 y 6.4
Piezas pequeñas	4/16 y 3/16	6.4 y 4.8
Piezas enanas	3/16 y 2/16	4.8 y 3.2
Gránulos	2/16 y 1/16	3.2 y 1.6
Harina	1/16	1.6

Fuente:(NMX-FF-093-SCFI-2011)

Color

Uno de los más importantes estándares de calidad es el color del contenido comestible (NMX-FF-84-SCFI-2009), de acuerdo a la escala de colores Guía Pantone Coated®, el color de la superficie del contenido comestible de la nuez se determina bajo cuatro categorías: Claro (458c, 459c, y 460c), Ámbar claro (110c, 116c, y 117c), Ámbar (470c y 471c), y Ámbar oscuro (478c, 490c y 491c). Las nueces de color más claro son mejor apreciadas por los consumidores que aquellas que presentan una coloración más oscura, pues éste último se asocia a una menor calidad.

Rancidez

Es el grado de descomposición de los ácidos grasos presentes en la nuez, causados por la presencia del oxígeno (producción de peróxidos) dando como resultado sabores y olores indeseables. Para determinar el contenido de peróxidos debe utilizarse el método indicado en el inciso 7.4 de la (NMX-FF-084-SCFI-2009).

Porcentaje (%) de aceite

El porcentaje de aceite es una medida indirecta de la calidad de la nuez, aunque es un indicador que depende de las condiciones del cultivo y su desarrollo, aun así se considera que la nuez no tuvo un desarrollo aceptable cuando su porcentaje de aceite está por debajo del 70% (Gómez, López, El, & Europeo, 2005).

Contenido de contaminantes

Para el consumo de nuez, ésta debe cumplir con los límites máximos para residuos de plaguicidas que establece el Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes (CNRPyC/SENASICA) y la Secretaría de Salud.

Características globales- Daños y defectos

De acuerdo a la normatividad mexicana (NMX-FF-093-2011), se describe los aspectos de calidad deseadas se encuentran clasificadas en Calidad I, II y III en nueces sin cáscaras, con márgenes de tolerancia específico para los siguientes parámetros: Nuez bien desarrollada, libre de daño por cualquier causa, contenido de cáscara y materia extraña, color externo del contenido comestible, tamaño uniforme, nueces vanas o nueces con presencia de hongos o dañadas por insectos.

Otros índices de calidad

Existen diferentes índices para determinar la calidad de los frutos secos (índice de peróxido, acidez, índice de yodo, por ejemplo). Los índices son indicadores de la composición de los frutos secos y de los diferentes procesos bioquímicos que tienen lugar durante el almacenamiento. Por ejemplo, a medida que los tocoferoles y pigmentos desaparecen, los ácidos grasos se oxidan, y el valor de los peróxidos se incrementa (Ambrosewicz-Walacik, Tańska, & Rotkiewicz, 2015; Prior, Vadke, & Sosulski, 1991), causando así una disminución en la calidad del fruto seco o bien en este caso de la nuez pecanera.

Comercialización y valor agregado

De las nueces que se producen en México, 97% son de la variedad Pecanera, cuyos huertos se extienden en 112 mil hectáreas distribuidas en 16 entidades federativas, de las cuales destaca Chihuahua, en la cual se cosechan 79 mil toneladas y participan agricultores de 37 municipios (SIAP-SAGARPA, 2015). La comercialización de la nuez pecanera en México, se realiza en el mercado externo vía la exportación de casi el 52 % del volumen mundial registrado en 2013 (18,448 ton). En 2014, México cosechó 40 mil 823 toneladas de nuez pecanera lo que representó un 38% del volumen mundial en la producción. El resto del volumen se comercializa a nivel nacional donde los productores la comercializan de las siguientes formas: a granel sin selección; seleccionadas por porcentaje de almendra y tamaño en arpillas a comerciantes mayoristas y minoristas; descascarada y en mitades. Las empresas que manejan la nuez a granel y son proveedoras de las industrias de alimentos manejan los productos con un mínimo procesamiento. En algunos casos tienen productos que ofrecen al menudeo al público en general, especialmente en México. Son en general intermediarios entre los productores y el consumidor final, y manejan varios tipos de nueces y frutos secos.

Sin embargo, la mayor cantidad de nuez pecanera se comercializa sin cáscara para darle valor agregado y de esa forma aumentar su margen de utilidad al distribuirlos a través de las grandes cadenas de supermercados, distribuidoras de frutos y semillas, confiterías, etc. Actualmente, el consumo anual por mexicano es de 700 gramos de nuez sin cáscara y su precio, va desde los \$80 pesos (precio mínimo) hasta los \$170 pesos por kilogramo (precio máximo) con cáscara (<http://www.economia-sniim.gob.mx/>) (Ver Figura 3-2). Los precios de la nuez a granel varían según la variedad y las características físicas con o sin cáscara. Para esto el departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) tiene definidos los estándares del producto y la mayoría de los comerciantes se rigen bajo estos estándares.

Ejemplos de estas empresas en Estados Unidos se encuentran:

- The Green Valley Pecan Company, en Arizona, Estados Unidos
- Navarro Pecan, en Texas, Estados Unidos

Mientras que en México estas son algunas de las empresas existentes:

- Fomento Agropecuario Tabalaopa, Chihuahua
- Frunuese, Distrito Federal
- Frutícola Steval, Sonora
- Grupo Nueces Chihuahua, Chihuahua
- Harsanyi Agroindustrial, Chihuahua
- Humphrey Pecan , Coahuila
- La Perlet, Sonora
- Leonuez, Chihuahua
- Nogalera Santa Elena, Durango
- Nueces del Bravo, Coahuila
- Productora de Nuez, Distrito Federal
- R.L. Grupo Cuatro Exporta “Selec Pecans”, Chihuahua
- Runusa, Chihuahua
- Santa Elena de la Laguna, Chihuahua
- Viñedos Llanos de San Francisco, Sonora

Con relación en las formas de comercializar la nuez pecanera, en un estudio reciente (Orona-Castillo et al., 2013) realizado para el estado de Coahuila y donde se involucraron los productores, comercializadores- transformadores de nuez se encontró que:

- 7% de los productores la comercializan seleccionando la nuez por tamaño y porcentaje de almendra, encostalada y a comerciantes mayoristas,

- 7% la comercializan ya descascarada en su propia quebradora

- 13% la comercializa a granel sin selección previa

- 20% la venden seleccionada por porcentaje de almendra

- 53% la adjudican seleccionada por tamaño, porcentaje de almendra, encostalada y a comerciantes mayoristas.

Estos porcentajes nos dan una idea de la comercialización a nivel nacional, aunque aún existen pequeños productores que no cuentan con maquinaria o equipo necesario para agregar valor y la comercializan a granel sin selección directamente a precios más bajos.

De acuerdo a las perspectivas del mercado internacional, la comercialización de este producto es bastante favorable, pues se ha observado en los últimos años una fuerte demanda y un alza en los precios de la misma.



Figura 3-2 Comercialización de nuez pecanera en supermercado nacional. Nov-2015 y Nov-2016 respectivamente.

Valor agregado y consumo en productos tradicionales y emergentes

Básicamente, en los últimos años los consumidores han relacionado a las nueces como un producto nutritivo, donde los ácidos grasos contenidos son buenos para la salud. En un estudio realizado en California el 96% de los encuestados dijeron haber escuchado esta afirmación y 93 la consideró verdad (Lee, Metz, Giovanni, & Bruhn, 2011). Las estadísticas del consumo en Estados Unidos muestran que los adultos aumentaron su ingesta de nueces en 68% de 1998 a 2008 hasta llegar a 1.59 kilogramos anuales (US Department of Agriculture, 2016).

En México, actualmente, entre el 20 % aproximadamente de la producción se utiliza en el mercado nacional, donde aún muchos productores venden principalmente a granel y alguien más procesa lo que necesita hasta que llega al consumidor. Las nueces son comercializadas con o sin cáscara, en mitades, en pedazos de diferentes tamaños o molidas (harina), de acuerdo a lo señalado por Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), el principal mercado consiste en nuez en cáscara, que corresponde el 60 %, y la nuez descascarada representa el 40 % restante (Rodríguez, 2012).

La forma en que se consume es descascarada, en fresco, pues son muy apreciadas por su sabor y textura agradables, también se añade como un ingrediente para la elaboración de dulces regionales, en helados, panadería, la industria de la confitería, botanas “snacks”, ensaladas y otros productos que están demandando como es su uso como materia prima para la extracción de aceite y obtención de harina de nuez. Su consumo se considera bastante estacional ya que se utiliza como ingrediente fundamental en platillos regionales, por ejemplo, los chiles en nogada de México y las tarta que se consumen en Estados Unidos en las celebraciones del día de Acción

de Gracias, por mencionar algunos, en otros casos los utilizan para los platillos de las épocas navideñas, por lo que en esas fechas su demanda es más significativa.

Productos tradicionales Mexicanos.

Confitería y snacks: Glorias, besos indios, garapiñados.

La nuez pecanera, por ser un cultivo tradicional es muy utilizado en la elaboración local y regional de dulces, para su comercialización con valor agregado y de forma directa al mercado. Un ejemplo de su uso son en la confitería son las glorias, originarias de la ciudad de Linares ubicada al sur del estado de Nuevo León, que son unos dulces elaborados a base de leche bronca de cabra o de vaca a la cual se le agrega azúcar, vainilla y canela una vez que esté hirviendo para posteriormente añadirle bicarbonato de sodio, dejando cocer esta mezcla sin dejar de moverla por aproximadamente cuatro horas hasta que espese, dejar enfriar y posteriormente se agrega la nuez picada. El dulce se presenta en forma de bolitas cubiertas de celofán rojo característico. Otro ejemplo son los besos indios, se elaboran de la misma forma que las glorias, de tamaño más pequeño y revolcadas en nuez pecanera picada. El piloncillo de leche y el rollo, otros dulces tradicionales son también cubiertos de nueces pecaneras molidas. Los encanelados, dulces de leche con canela que se adornan con un corazón de nuez. También, encontramos alas marquetas, cuyo significado se encuentra pan de cera sin labrar o bloque de hielo o jabón, tradicionalmente elaboradas con dulce de leche quemada en forma de corazón y adornada con mitades de nueces pecaneras.

Las mitades de nueces enteras se comercializan además como nueces garapiñadas, donde las mitades se sumergen en un caramelo con un toque de vainilla o bien se envuelven en una mezcla de clara de huevo, azúcar y canela, luego se hornean. La venta de estos productos tradicionales, se da principalmente directamente al consumidor sobre la carretera de Linares, donde adultos, jóvenes y niños las venden como soporte a la economía familiar. También, ya existen algunas empresas que comercializan estos productos vía supermercados y cadenas comerciales dentro de aeropuertos nacionales.

Otro de los usos de la nuez pecanera se encuentra en productos de panadería como la tarta de nuez, pasteles y galletas, por ejemplo el pan de Bustamante preparado con harina de trigo, piloncillo, anís, canela, cocoa y nuez; o bien las empanadas de nuez muy populares de la región norte del país. Sin duda otro ejemplo claro de valor agregado es el de los helados (Ver Figura 3-3).



Figura 3-3 Productos tradicionales mexicanos elaborados con nuez pecanera.

Prospectiva de nuevos productos con nuez en mercados internacionales y nacionales.

En los últimos 5 años se lanzaron al mercado norteamericano 1,293 productos que contenían nuez pecana como ingrediente (Mintel group Ltd., 2016). El número de productos nuevos con nuez pecana se incrementó en casi un 100% en cinco años tal como se muestra en Figura 3-4.

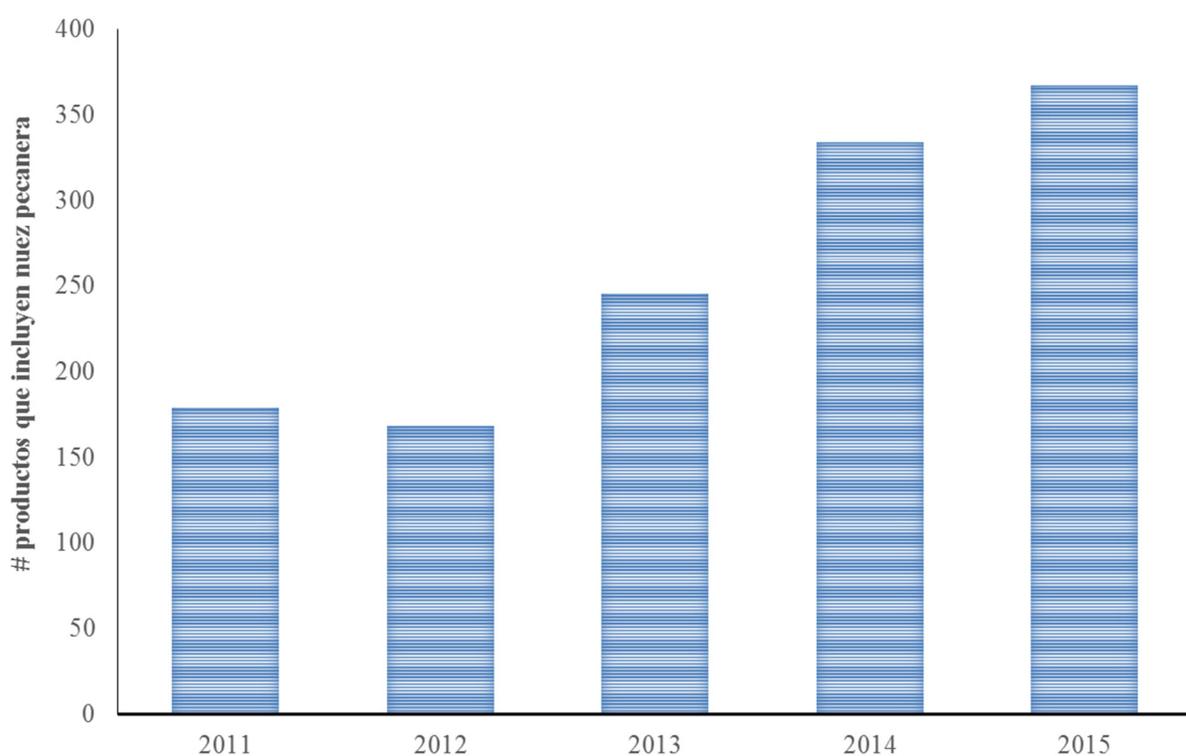


Figura 3-4 Lanzamiento de nuevos productos con nuez pecana como ingrediente en Norteamérica (Fuente: Mintel).

En el 2001 se publicó un resumen de los patrones de consumo de nueces por parte de la población norteamericana (Lin, Frazao, & Allshouse, 2001) que indicaba que el 39% de los consumidores prefería consumir el producto como de forma individual, como snack, en lugar de comerlo como ingrediente de otro alimento. Esto tendría una relación directa con el hecho de que el 40% de los nuevos productos introducidos al mercado conteniendo nuez pecana corresponderían a la categoría de snacks, y un 34.6% estaría dentro de los grupos de panadería

o repostería. La Figura 3-5 muestra las categorías de alimentos nuevos lanzados al mercado entre 2010 y 2015 conteniendo nuez pecana.

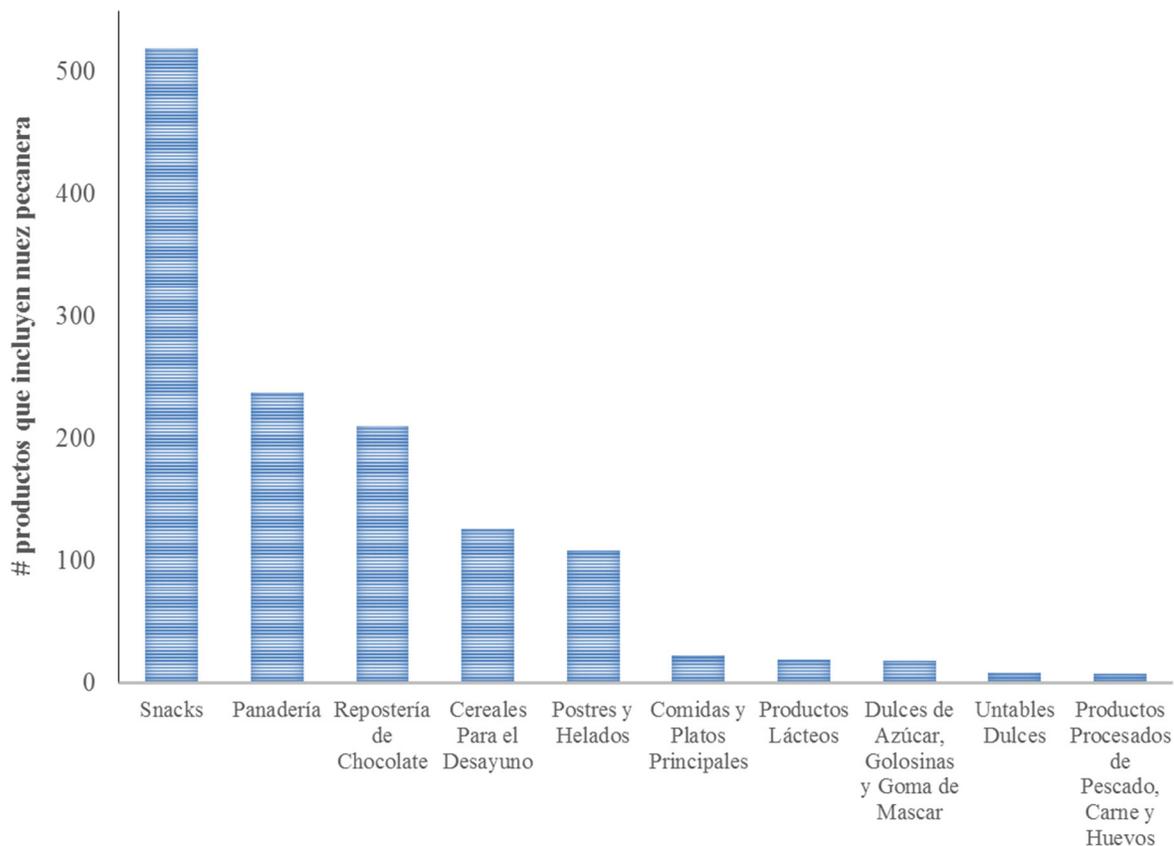


Figura 3-5 Distribución por categoría de alimentos nuevos en el mercado conteniendo nuez pecana del 2010 al 2015 (Fuente: Mintel).

En México los nuevos productos a base de nuez representan solo una pequeña cantidad, en total 95 en los últimos cinco años, y casi el 50% de estos están relacionados con snacks. En su mayoría los snacks de nuez contienen otros productos y se venden principalmente como frutos secos, snack mixto o como barras energéticas. Y en el caso de productos de panadería son preferentemente galletas (Ver Figura 3-6).

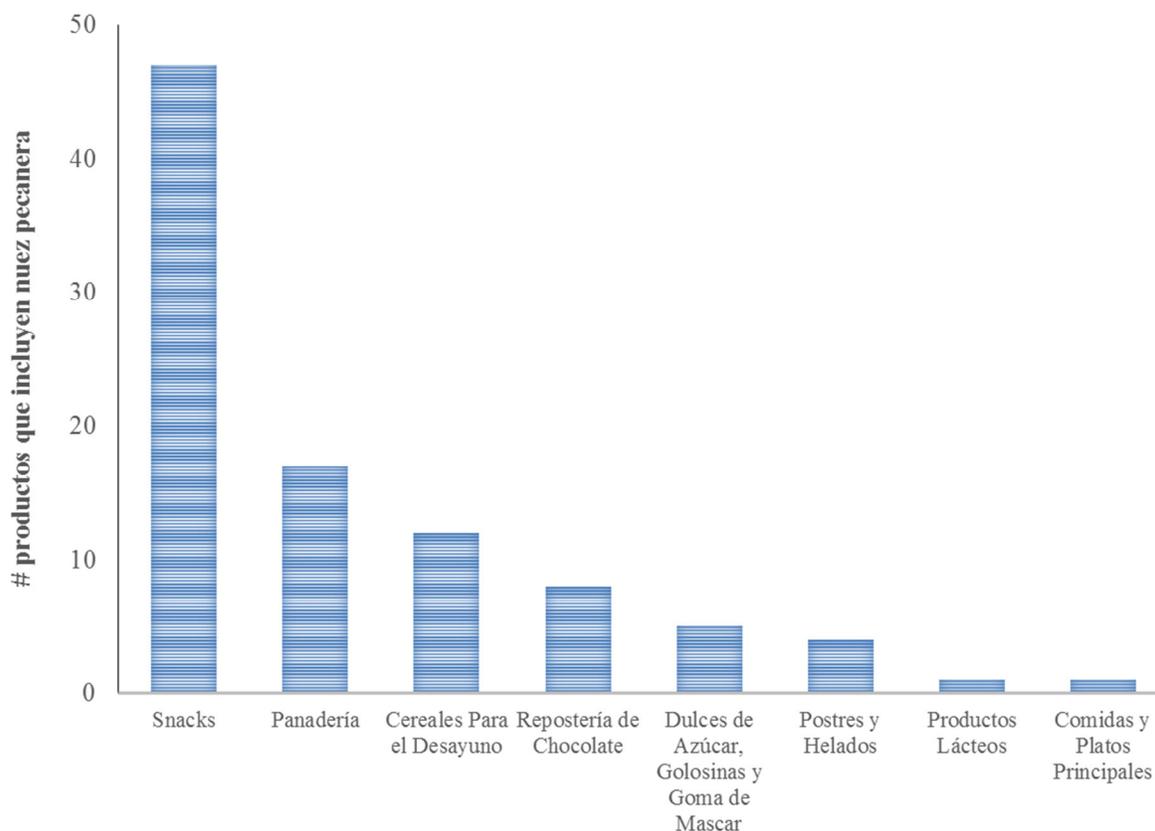


Figura 3-6 Lanzamientos de nuevos alimentos con nuez pecana entre 2010 y 2015 (Fuente: Mintel).

En el caso de México, muchos de los nuevos productos están fabricados en otros países y son importados y comercializados por las cadenas de supermercados, o por empresas especializadas. La Tabla 3-3 muestra las empresas que más han participado con productos nuevos conteniendo nuez.

Características de los nuevos productos a base de nuez pecanera.

El desarrollo de nuevos productos, es una actividad que necesita de inversión económica la cual suele ser arriesgada, por el riesgo de no ser del todo aceptados por los consumidores. Actualmente, existe una tendencia por el consumo de una dieta saludable, la adquisición de alimentos con propiedades saludables a precios accesibles y propiedades sensoriales y nutricionales adecuadas, las cuales finalmente impactan en la decisión del consumidor. Las reconocidas bondades nutricionales y la facilidad de su consumo hacen de la nuez un alimento

funcional que encaja en las tendencias actuales del consumo, caracterizadas por la búsqueda de la conveniencia, la rapidez y de alimentos beneficiosos para la salud (Gómez et al., 2005).

Tabla 3-3 Empresas en México con nuevos productos conteniendo nuez introducidos entre 2010 y 2015 Fuente:Mintel).

Empresa	No. de Productos	País	Giro
Comercializadora México Americana	6	México	Supermercado
Two Moms In The Raw	5	EEUU	Barras de Granola
Supermercados Internacionales H-E-B	4	México	Supermercado
Wal-Mart	4	México	Supermercado
Advance Food	3	México	Comercializadora
Belara	3	México	Snacks
Café El Marino	3	México	Representante
Comercializaciones Frima	3	México	Comercializadora
Distribuidora Nacional Omni Sapi	3	México	Snacks
Fabrica de Dulces La Providencia	3	México	Dulces
Galletas de Calidad	3	México	Galletas
Importadora Primex	3	México	Comercializadora
Tiendas Soriana	3	México	Supermercado
Alimentos PachaMama	2	México	Dulces
Alimentos Que Nutren	2	México	Snacks
Dean Foods	2	México	Helados
Heartland Brands	2	EEUU	Cereales
Southwest Icecream Specialities	2	EEUU	Helados
Star Del Norte	2	México	Snacks
Wholesome Goodness	2	EEUU	Snacks

Un alimento funcional suele ir acompañado de una declaración de propiedades saludables que pueden influir en la elección de alimentos, en este sentido se han buscado distintas aplicaciones para la nuez pecanera y sus subproductos, pues contiene casi el 60 por ciento de grasas monoinsaturadas y otro 30 por ciento de poliinsaturadas, siendo grasas saludables para el corazón. De acuerdo al estudio de Rajaram Et al. (2001) se demostró que una

dieta enriquecida con nuez pecana, disminuyó el contenido de colesterol mejorando el perfil de lípidos (reducción de triacilglicéridos, total y Colesterol LDL y aumento del colesterol HDL). La nuez pecanera es clasificada como uno de los alimentos con mayor contenido fenólico y antioxidante, por su contenido en flavan-3-ols, antocianidinas (Harnly et al., 2006), proantocianidinas (Gu et al., 2004a), ácidos fenólicos (SENTER, HORVAT, & FORBUS, 1980) y, más recientemente, ácido elágico (Villarreal-Lozoya, Lombardini, & Cisneros-Zevallos, n.d.). La nuez pecanera también es una buena fuente de ácido oleico, vitamina B1, tiamina, magnesio y proteínas. Es por ello que, algunos de los productos en desarrollo incluyen: el aceite, la leche, o harina como sustitutos de carne.

Aceite de nuez como ingrediente para alimentos funcionales.

De acuerdo a estas tendencias en salud y desarrollo de nuevos productos, se están buscando alternativas para el diseño de productos, por ejemplo, el desarrollo propuesto por (Miele, Di Monaco, Cavella, & Masi, 2010), propone la elaboración de una mayonesa funcional preparada con sustitución parcial de aceite de girasol por el aceite de nuez, por su contenido en ácidos grasos omega-6 y omega-3, considerando en su desarrollo la evaluación de las propiedades saludables y los atributos sensoriales con grupos focales.

Se han buscado otras alternativas de productos, como la extracción de aceite de la torta residual o subproducto industrial de la producción de aceite, es una alternativa para valorar la aplicación industrial de la nuez de pecanera. Salvador et al. (2016), estimó el rendimiento de extracción de diferentes procesos de extracción como el métodos de baja presión (LPE, por su acrónimo en inglés) y la extracción con fluidos supercríticos (SFE, por su acrónimo en inglés), para obtener un extracto de dicho subproducto (aceite residual). La extracción con fluidos supercríticos alcanzó 98% de extracción de la fracción lipídica de la materia prima, lo que demuestra que se puede obtener potencial para generar subproductos alternativos a partir de residuos agroindustriales y ser utilizados como ingredientes para diversos alimentos.

Leche de nuez

Otro producto con un alto valor agregado, puede ser la leche de nuez pecana como una alternativa para las personas intolerantes a la lactosa. La leche se puede preparar remojando las nueces (aproximadamente 80 gramos) y se puede agregar azúcar o stevia, se licúa y se filtra. El bagazo que resulta de la extracción de la leche puede ser usado en panadería o en la elaboración de pastas.

Harina de nuez como sustituto de Carne.

Varias investigaciones refieren a las propiedades funcionales de las harinas obtenidas de frutos secos (Bhat & Karim, 2009; Borneo & Leon, 2012; Chau & Cheung, 1998; Kohajdová, Karovičová, & Schmidt, 2011). Por tanto, las harinas de semillas pueden usarse individualmente

en pan o frituras; o bien en combinación. En otro estudio en particular, evaluaron las propiedades funcionales seleccionadas de las harinas de semillas, semillas con grasa y desgrasadas, preparadas a partir de materia prima adquiridas en los mercados locales minoristas, los cuales incluían cereales, legumbres, frutos secos y semillas oleaginosas (Aditya U. Joshi, Liu, & Sathe, 2015).

Las nueces son consideradas parte del grupo de las carnes porque son altas en proteínas y grasas. El efecto funcional de las nueces fue evaluado en un producto cárnico, incorporándolas en la cantidad adecuada de consumo de nueces por persona por día y de acuerdo a las y recomendaciones de su consumo regulado (FDA. Food and Drug Administration. Nutrition, 2003). Aunque el estudio no detalla características de calidad y percepción sensorial del producto final, se sitúan en la importancia de probar la funcionalidad del producto considerando un biomarcador de exposición, la biodisponibilidad de los componentes derivados de la nuez y el impacto del consumo regular sobre marcadores de riesgo cardiovascular (Alonso, Lorenzo, Barbudo, & Navarro, 2004).

Aditivos o ingredientes para alimentos.

A partir de la cáscara de nuez pecanera, se puede obtener fibra y ser utilizada como ingrediente para alimento de ganado, pues está compuesta predominantemente de fibra insoluble (celulosa, lignina y hemicelulosa), contiene pequeñas cantidades de grasa (<4%) y proteínas (<3%). También contiene aproximadamente 4,5% de polifenoles y 10% de proantocianidinas, moléculas reconocidas por su antioxidante actividad (Pinheiro do Prado, Monalise Aragão, Fett, & Block, 2009). Por lo tanto, es posible que la fibra de la cáscara de la nuez pueda tener potencial como un ingrediente funcional (tanto como fibra como antioxidante) en formulaciones del alimento. Dolan et al. (2016), por ejemplo llevó a cabo un estudio sobre la seguridad de consumo de fibra obtenida de cáscara de nuez pecanera y su potencial como un ingrediente alimentario, concluyendo que además del beneficio adicional (alto contenido en polifenoles y proantocianidina) a la dieta, la fibra puede ser consumida, con seguridad por la población, en un nivel relativamente alto.

Referencias

- Alonso, O., Lorenzo, G., Barbudo, H., & Navarro, B. (2004). Productos cárnicos funcionales preparados con nuez. *Evaluación del efecto funcional*, 37–41.
- Ambrosewicz-Walacik, M., Tańska, M., & Rotkiewicz, D. (2015). Effect of heat treatment of rapeseed and methods of oil extraction on the content of phosphorous and profile of phospholipids. *Pol. J. Natur. Sc.*, 30(2), 123–136.
- Arredondo, J. J. (2013). Programa Estratégico de Necesidades de Investigación Y Transferencia de Tecnología NUEZ, 1–71.
- Baldwin, E. A., & Wood, B. (2006). Use of edible coating to preserve pecans at room temperature. *HortScience*, 41(1), 188–192.
- Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Exploring the Nutritional Potential of Wild and Underutilized Legumes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(4), 305–331. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00084.x>
- Borneo, R., & Leon, A. E. (2012). Whole grain cereals: functional components and health benefits. *Food & Function*, 3(2), 110–119. <https://doi.org/10.1039/C1FO10165J>
- Chau, C. ., & Cheung, P. C. . (1998). Functional properties of flours prepared from three Chinese indigenous legume seeds. *Food Chemistry*, 61(4), 429–433. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00091-5)
- Comité Estatal del sistema producto Nuez del Estado de Chihuahua. (2012). *PLAN RECTOR SISTEMA PRODUCTO NUEZ CHIHUAHUA*.
- Dabul, M. E. (2012). Cosecha , Almacenamiento Y Acondicionamiento De La Nuez Pecán.
- Dolan, L., Matulka, R., Worn, J., & Nizio, J. (2016). Safety studies conducted on pecan shell fiber, a food ingredient produced from ground pecan shells. *Toxicology Reports*, 3, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.11.011>
- FDA. Food and Drug Administration. Nutrition, C. for F. S. and A. (2003). Labeling and Dietary Supplements. Qualified Health Claims. Walnuts and Coronary Heart Disease. <https://doi.org/Docket No 02P-0292>
- Gómez, D. M. C., López, A. I. S., El, E. N., & Europeo, M. (2005). Comercialización De La Nuez Pecán En El Mercado Europeo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, IX, 0–21.
- Gu, L., Kelm, M. A., Hammerstone, J. F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., ... Prior, R.

- L. (2004). Concentrations of Proanthocyanidins in Common Foods and Estimations of Normal Consumption. *J. Nutr.*, 134(3), 613–617.
- Harnly, J. M., Doherty, R. F., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Bhagwat, S., & Gebhardt, S. (2006). Flavonoid Content of U.S. Fruits, Vegetables, and Nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 9966–9977. <https://doi.org/10.1021/jf061478a>
- Haytowitz, D. B., & Bhagwat, S. (2010). *USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, Release 2*.
- International Nut & Dried Fruit Council. (2015). INC Global Statistical Review, 76.
- Joshi, A. U., Liu, C., & Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 325–331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.038>
- Kader, A. A. (2002). Controlled Atmosphere Storage.
- Karagöz, I., Moreira, R. G., & Castell-Perez, M. E. (2014). Radiation D10 values for salmonella typhimurium LT2 and an escherichia coli cocktail in pecan nuts (Kanza cultivar) exposed to different atmospheres. *Food Control*, 39(1), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.10.041>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2011). Lupin composition and possible use in bakery - A review.
- Lee, L. E., Metz, D., Giovanni, M., & Bruhn, C. M. (2011). Consumer Knowledge and Handling of Tree Nuts: Food Safety Implications. *Food Protection Trends*, 31(1), 18–27. Retrieved from <http://www.foodprotection.org/files/food-protection-trends/Jan-11-Bruhn.pdf>
- Lin, B. H., Frazao, E., & Allshouse, J. (2001). U.S. Consumption Patterns of Tree Nuts. *Food Review: The Magazine of Food Economics*, 24(2), 54–58. Retrieved from <http://ageconsearch.umn.edu/handle/234544>
- Miele, N. A., Di Monaco, R., Cavella, S., & Masi, P. (2010). Effect of meal accompaniments on the acceptability of a walnut oil-enriched mayonnaise with and without a health claim. *Food Quality and Preference*, 21(5), 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.01.001>
- Mintel group Ltd. (2016). Mintel: Global Market Research & Market Insight. Retrieved October 28, 2016, from <http://www.mintel.com/>
- NMX-FF-084-SCFI-2009. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO – FRUTO FRESCO – NUEZ PECANERA *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-FF-084-SCFI-1996) (2009). <http://www.comenuz.com/assets/nmx-ff-084-scfi-2009.pdf>.

- 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., Secretaría de Economía 23 (2011).
- Oro, T., Ogliari, P. J., Dias de Mello Castanho Amboni, R., Barrera-Arellano, D., & Mara Block, J. (2008). Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán [Carya illinoensis (Wangenh.) C. Koch] acondicionadas en diferentes envases. *Quality Evaluation of Pecan Nuts [Carya Illinoensis (Wangenh.) C. Koch] during Storage in Different Packaging.*, 59(2), 132–138. <https://doi.org/10.3989/gya.2008.v59.i2.501>
- Orona-Castillo, I., Sangerman-Jarquín, D. M., Fortis-Hernández, M., Vázquez-Vázquez, C., & Gallegos-Robles, M. (2013). Producción y comercialización de nuez pecanera (Carya illinoensis Koch) en el norte de Coahuila , México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 461–476.
- Picha, D. (1914). Storage hints for pecans, 1914.
- Pinheiro do Prado, A. C., Monalise Aragão, A., Fett, R., & Block, J. M. (2009). Antioxidant Properties of Pecan Nut [Carya illinoensis (Wangenh.) C. Koch] Shell Infusion. *Grasas Y Aceites; Vol 60, No 4 (2009)*. <https://doi.org/10.3989/gya.107708>
- Prior, E. M., Vadke, V. S., & Sosulski, F. W. (1991). Effect of Heat Treatments on Canola Press Oils. II. Oxidative Stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(6), 407–411.
- Rajaram, S., Burke, K., Connell, B., Myint, T., & Sabaté, J. (2001). A monounsaturated fatty acid-rich pecan-enriched diet favorably alters the serum lipid profile of healthy men and women. *The Journal of Nutrition*, 131(9), 2275–9.
- Rodriguez, A. (2012). PLAN RECTOR DEL SISTEMA PRODUCTO NUEZ DIAGNÓSTICO, (1), 1–68.
- SAGARPA. (2016). Chihuahua, líder nacional en producción de nuez. 2016-08-26, 52(614).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.05.046>
- Santerre, C. R. (University of G. G. G., Scouten, A. J., & Chinnan, M. S. (1990). Room temperature storage of shelled pecans: control of oxygen. *Proceedings of the Annual Convention - Southeastern Pecan Growers Association (USA)*.
- SENER, S. D., HORVAT, R. J., & FORBUS, W. R. (1980). RELATION BETWEEN PHENOLIC ACID CONTENT AND STABILITY OF PECANS IN ACCELERATED

STORAGE. *Journal of Food Science*, 45(5), 1380–1382. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb06559.x>

Shayanfar, S., Kashaninejad, M., Khomeiri, M., Djomeh, Z. E., & Mostofi, Y. (2011). Effect of MAP and Different Atmospheric Conditions on the Sensory Attributes and Shelf life Characteristics of Fresh Pistachio Nuts. *Int. J. Nuts & Related Sci. International Journal of Nuts and Related Sciences*, 2(23), 47–57.

SIAP-SAGARPA. (2015). *Atlas Agroalimentario 2015*. Retrieved from http://nube.siap.gob.mx/publicaciones_siap/pag/2015/Atlas-Agroalimentario-2015

Taipina, M. S., Lamardo, L. C. A., Rodas, M. A. B., & del Mastro, N. L. (2009). The effects of gamma irradiation on the vitamin E content and sensory qualities of pecan nuts (*Carya illinoensis*). *Radiation Physics and Chemistry*, 78(7–8), 611–613. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.03.019>

US Department of Agriculture, E. R. S. (2016). Commodity Consumption by Population Characteristics. Retrieved October 31, 2016, from <http://www.ers.usda.gov/data-products/commodity-consumption-by-population-characteristics/>

Villarreal-Lozoya, J. E., Lombardini, L., & Cisneros-Zevallos, L. (n.d.). Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivars. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.024>

Capítulo 4 Aprovechamiento integral de la nuez pecanera como fuente de fitocompuestos

Nohemí del Carmen Reyes Vázquez

Introducción

En los últimos años México se ha posicionado como un actor importante en la producción y el mercado de la nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] hasta ubicarse en el principal productor a nivel mundial con 117,966 Ton en 2015. Desde el punto de vista comercial, el principal mercado consiste en nuez con cáscara el cual corresponde al 60 % y la nuez descascarada representa el 40 %. La forma en que se consume es en fresco, o como un ingrediente en la elaboración de dulces regionales, en helados, panadería y otros que están surgiendo, aunque aún insipientes como el aceite de nuez (Plan Rector del Sistema Producto Nuez, 2012). Cabe destacar, que la cáscara de la nuez pecanera constituye un 40-50% de peso total del fruto, lo que representa una biomasa de aproximadamente 24,000 Ton, hasta ahora solamente utilizadas por ejemplo en la pavimentación de caminos, o como abrasivos en el pulimento de metales (Lim, 2012). Adicionalmente, existe una demanda en el sector productivo de darle valor agregado a la nuez, incrementando las plantas de quebrado, promoviendo la obtención de aceites, y de compuestos que puedan ser aprovechados en diversas aplicaciones en la industria (D. Ojeda-Barrios et al., 2010). Sin embargo, hasta el momento, la nuez pecanera y particularmente sus subproductos como cáscara, han sido escasamente evaluados en la búsqueda de nuevas aplicaciones, por lo que surge la necesidad de valorizarlos a la luz de su contenido de fitocompuestos y/o como ingredientes funcionales, con el fin de explorar nuevos usos.

Por lo anterior, se presenta la composición nutrimental y fitoquímica, donde destacan las fracciones de elevada calidad nutritiva, y compuestos bioactivos tanto en la almendra como en la cáscara con propiedades bioactivas, antioxidantes, antimicrobianos, anti-hipercolesterolemicos y anti-inflamatorios, que han demostrado tener potencial aplicación en productos nutraceuticos, cosmeceuticos y/o farmaceuticos. Asimismo, también se plantea una alternativa innovadora para su valorización y aprovechamiento integral de estas fracciones de la nuez.

Nohemí del Carmen Reyes Vázquez, Dr.
Tecnología Alimentaria, CIATEJ unidad Noreste
nreyes@ciatej.mx

Antecedentes.

Composición nutrimental

La almendra de nuez pecanera, es una oleaginosa con una composición de elevada calidad nutrimental tanto en sus macronutrientes como de micronutrientes y fitoquímicos.

En su composición de macronutrientes de la almendra (Tabla 4-1) destaca su elevado contenido de lípidos, reportados como extracto etéreo, del orden de 66.18 g/100 g de porción comestible, similar a la de otras nueces comestibles con elevadas cantidades como avellana, piñón y nuez de macadamia (Venkatachalan & Sathe, 2006), constituyendo una excelente fuente de energía con 529.44 Kcal/100g. La almendra contiene también fibra dietética con 9.6 g/100 g, así como 7.50 g/100 g de proteínas y 1.88 g/100 g de cenizas. Estas últimas compuestas principalmente por micronutrientes como Fe, Mg, P, K, Zn, Cu, Mn y Ca (Lim, 2012).

Por lo que, desde el punto de vista de su composición y calidad nutritiva la almendra contiene una elevada cantidad de lípidos, fibra y proteínas; mientras que en la cáscara sus fracciones mayoritarias son fibra, y cenizas.

Fitoquímicos en la nuez pecanera.

Almendra y Cáscara.

En la nuez pecanera, las dos fracciones en donde se han identificado y caracterizado en forma consistente fitoquímicos son fundamentalmente en la almendra y en la cáscara. Adicionalmente, una tercera fracción en la que también se han encontrado compuestos bioactivos la constituye el aceite.

En su composición de fitoquímicos, la almendra y particularmente la cáscara de la nuez pecanera tienen un alto contenido de compuestos flavonoides, fenólicos totales y proantocianidinas o taninos condensados los cuales son de gran interés nutricional y medicinal debido a su gran capacidad antioxidante ya que pueden proporcionar beneficios deseables para la salud humana, es decir, poseen acción nutraceutica al otorgar protección ante enfermedades crónicas-no transmisibles como diabetes, arterioesclerosis, cáncer, entre otras (Lim, 2012). Estos tres compuestos polifenólicos fueron cuantificados por (De La Rosa et al., 2011) en almendra y cáscara de nuez pecanera de la variedad resultante de una mezcla de Western y Wichita cultivada en tres áreas productoras importantes del estado de Chihuahua: Casas Grandes, Delicias y Jiménez. En la

Tabla 4-2 se puede apreciar que estos tres compuestos fueron más abundantes en cáscara que en almendra, siendo de 5-7 veces para los fenólicos y flavonoides totales; mientras que fue 17 veces para las proantocianidinas.

Tabla 4-1 Composición proximal de almendra, y cáscara de la nuez pecanera

COMPUESTO	ALMENDRA	CÁSCARA
	Composición Química	
Proteínas (g/100g)	7.50	2.84
Lípidos (como extracto etéreo) (g/100g)	66.18	0.39
Carbohidratos (g/100g)	1.55	34.57
Humedad (g/100g)	9.51	11.30
Cenizas (g/100g)	1.88	1.85
Fibra cruda (g/100g)	9.6	48.47
Nitrógeno no proteico (g/100g)	0.06	---
Energía (kcal/100g)	691 (2,889 kJ)	---

Fuente: (Do Prado et al., 2013; Lim, 2012; Venkatachalan & Sathe, 2006)

Nota: Los valores son expresados en gramos por 100 g de porción comestible o cáscara

Con respecto a la cáscara, en muestras de nuez pecanera de la variedad Barton (Do Prado et al., 2013) reportaron que la fibra cruda representa la fracción de mayor concentración con 48.47 g/100g, seguido por carbohidratos con 34.57 g/100 g y de proteínas 2.84 g/100g como compuestos mayoritarios, evidenciado sólo trazas de proteínas y lípidos.

Mediante métodos cromatográficos se han podido identificar y cuantificar algunos compuestos individuales de fenoles, en donde en la almendra proveniente de la cruce de Western y Wichita se cuantificaron en mayor proporción los ácidos elágico, gálico, protocatecuico y p-hidroxibenzoico.

Cabe señalar, que tanto el ácido elágico como gálico fueron identificados en cáscara, sin embargo, no fueron cuantificados (De La Rosa et al., 2011).

Otros estudios indican que el contenido de fenoles totales y proantocianidinas son afectadas por el tipo de cultivar. De esta manera, (Villarreal-Lozoya et al., 2007) han reportado diferencias significativas ($p < 0.05$) en seis cultivares producidos en un campo experimental de Texas, entre los que se encuentran Desirable, Kanza, Kiowa, Nacono, Pawnee and Shawnee.

Tabla 4-2 Compuestos polifenólicos en almendra y cáscara de nuez pecanera

COMPUESTOS POLIFENÓLICO	ALMENDRA	CÁSCARA
Flavonoides totales (mg CE/g B.H.)	6.03	31.80
Fenólicos totales (mg GAE/g B.H.)	12.00	81.40
Ácido elágico (mg/g)	5.03	ND
Ácido gálico (µg/g)	229.03	ND
Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico (µg/g)	55.26	NI
Ácido protocatecuico (µg/g)	20.86	NI
<i>Proantocianidinas</i> o Taninos Condensados (mg CE/g B.H.)	22.50	392.16
Monómeros (mg/100g)	17.22	
Dímeros (mg/100g)	42.13	
Trímeros (mg/100g)	26.03	
4-6meros (mg/100g)	101.43	
7-10meros (mg/100g)	84.23	
Polímeros (mg/100g)	223.01	
<i>Flavan-3-ols</i>		
Epicatequina (mg/100g)	0.82	
Epicatequina 3-galato (mg/100g)	NI	
Epigallocatequina (mg/100g)	5.63	120.21 µg/mL
Epigallocatequina 3-galato (mg/100g)	2.30	0.34 µg/mL
Catequina (mg/100g)	7.24	31.83

Fuente: (Do Prado et al., 2014)(De La Rosa et al., 2011; Gu et al., 2003, 2004b)

Nota: BH: Base Húmeda, ND: No Determinado, NI: No Identificado

La cantidad de polifenoles totales cuantificados como equivalentes de ácido clorogénico, por sus siglas en inglés CAE, estuvo en un rango de 62-106 mg CAE/g de almendra desengrasada, siendo Kanza la de mayor contenido y Desirable la de menor; mientras la cuantificación de proantocianidinas evaluadas como catequina equivalentes, por sus siglas en inglés CE, varió en un rango de 23 a 47 mg CE/g de almendra desengrasada. Adicionalmente, se pudieron identificar y cuantificar compuestos fenólicos como ácido gálico y elágico, en donde para el primero presentó un rango de 0.65 a 1.3 mg/g de almendra desengrasada, mientras para el segundo fue de 2505 a 4732 $\mu\text{g/g}$ de almendra desengrasada, sin diferencias ($p < 0.05$) entre cultivares.

Asimismo, se ha podido caracterizar el grado de polimerización de las proantocianidinas o taninos condensados, los cuales poseen alta actividad antioxidante. Estos compuestos están constituidos por unidades de flavan-3-ols que forman oligómeros o polímeros tipo A y tipo B según el tipo de enlace que los une; cuando los flavan-3-ols son esterificados con ácido gálico forman 3-*O* galatos. En la almendra de nuez pecanera se encontraron oligómeros y polímeros de flavan 3-ol tipo B conteniendo unidades de epicatequina y epigalocatequina ligados por enlaces entre el C4→C8 y el C4→C6, presentando también 3-*O* galatos (Gu et al., 2003). La cantidad de estos compuestos en miligramos por 100 g de almendra se muestra en la

Tabla 4-2 (Gu et al., 2004b). También se han podido identificar los flavan-3-ols en las proantocianidinas de la almendra en donde destaca la presencia de catequina, y en menor proporción epicatequina y epigalocatequina y sus galatos correspondientes (Gu et al., 2003); mientras que en la cáscara destaca la epigalocatequina, seguido de la catequina y la epigalocatequina 3-galato (Do Prado et al., 2014).

Aceite.

Siendo la fracción lipídica la de mayor cantidad en la almendra, numerosos estudios se han dado a la tarea de cuantificar su composición tanto de ácidos grasos como tocoferoles, y fitoesteroles presentes en la almendra y el aceite de la nuez pecanera. En la Tabla 4-3 se indica que el contenido de ácidos grasos es similar en el aceite extraído por prensado hidráulico que el presente en la almendra, y que aparentemente no sufre modificación en su composición por efecto de la extracción.

En su composición destaca un elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados totales, relacionados con el mayor contenido de ácido oleico y linoleico respectivamente. Los ácidos grasos polinsaturados están compuestos de 23.68 g/100g de linoleico y 1.24 g/100g de linolénico (Venkatachalan & Sathe, 2006).

Con relación al contenido de tocoferoles, la almendra y aceite son ricos en α -Tocoferol (Vitamina E), γ -Tocoferol y δ -Tocoferol (Tabla 4-3). Además contiene fitoesteroles. Tanto los tocoferoles como los fitoesteroles son compuestos bioactivos que han demostrado tener una elevada actividad antioxidante (Do Prado et al., 2013).

Tabla 4-3 Ácidos grasos y tocoferoles presentes en la almendra y aceite de la nuez pecanera

COMPUESTO	ALMENDRA ¹	ACEITE ²
Ácidos grasos		
(g/100g de lípidos)		
Ácido palmítico (C16:0)	5.90	5.30
Ácido esteárico (C18:0)	2.24	2.30
Ácido oleico (C18:n9c)	66.66	69.20
Ácido linoleico (C18:2n6c)	23.68	23.10
Ácidos grasos saturados totales	8.35	7.70
Ácidos grasos monoinsaturados totales	66.73	69.20
Ácidos grasos polinsaturados totales	24.92	23.10
Tocoferoles		
(mg/100g de almendra o aceite)		
α-Tocoferol (Vitamina E)	1.40	1.10
γ-Tocoferol	24.44	38.10
δ-Tocoferol	0.04	N.D.
Fitoesteroles		
(mg/100 g de almendra o lípidos)		
Total de fitoesteroles	199	210

Fuente: (Do Prado et al., 2013; Lim, 2012b; Venkatachalan & Sathe, 2006)

Nota: N.D. No Determinado

¹Cuantificados a partir del extracto etéreo del cultivar Desirable de Texas y ²aceite obtenido mediante prensado hidráulico de la variedad Barton cosecha 2010.

Por tanto, el aceite contiene ácidos grasos insaturados que representa el 91.65 % de su composición, lo que es relevante desde el punto de vista de su calidad nutrimental, en las implicaciones en la salud, en su contribución al sabor y textura característico del aceite, y en los aspectos de calidad durante su almacenamiento.

Propiedades Bioactivas.

Entre las propiedades bioactivas relacionadas con los fitocompuestos presentes en la nuez pecanera destacan las siguientes actividades biológicas: antioxidante, antimicrobiana, anti-hipercolesterolemica y anti-inflamatoria.

Actividad Antioxidante.

Los antioxidantes son considerados agentes protectores que inactivan las especies reactivas de oxígeno, por lo que previenen el daño oxidativo. Entre las enzimas involucradas en contrarrestar el estrés oxidativo se encuentran las superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa, las cuales atenúan las especies reactivas de oxígeno generadas por el metabolismo. Adicionalmente las vitaminas E y C, y los polifenoles presentes en los alimentos también exhiben actividad antioxidante.

En la almendra de nuez pecanera cultivada en tres regiones de Chihuahua (De La Rosa et al., 2011) han reportado una fuerte correlación de la actividad antioxidante medida como ORAC ($r^2= 1$), DPPH $^{\cdot-}$ ($r^2= 1$), ABTS $^{\cdot-}$ ($r^2= 0.997$) y HO $^{\cdot}$ ($r^2= 0.997$) y la cantidad de fenoles y flavonoides totales, proantocianidinas, ácido gálico y elágico.

Adicionalmente, la localidad del cultivo influyó significativamente sobre la actividad antioxidante, particularmente en la cáscara como se muestra en la Tabla 4-4.

La almendra de la nuez crecida en ciudad Delicias, presentó la mayor actividad de ORAC y DPPH $^{\cdot-}$, mientras su cáscara mostró los valores menores, y aunque las diferencias no fueron significativas para las almendras de las tres localidades; sin embargo, sí lo fueron para las cáscaras en todos los métodos probados, con excepción de la actividad de ABTS $^{\cdot-}$ (Tabla 4-4). Lo que indica que las condiciones ambientales, como la exposición a la luz, de la cáscara de nuez en las diferentes localidades influyeron en su actividad antioxidante, como había sido reportado por (Schwartz et al., 2009) en cáscara de granada. Esta actividad estuvo relacionada con la fracción polifenólica extraíble, principalmente con taninos condensados.

De la misma manera, en otro estudio, elevadas correlaciones se han encontrado en la capacidad antioxidante y fenoles totales, tanto para DPPH $^{\cdot-}$ ($r^2= 0.98$) como ORAC ($r^2= 0.75$) en seis cultivares de nuez pecanera (Villarreal-Lozoya et al., 2007). La capacidad antioxidante de DPPH $^{\cdot-}$ varió de 81 a 135 mg de equivalentes de Trolox/g de semilla desgrasada para las variedades Desirable y Kanza respectivamente; mientras que fue de 331 a 675 mg de equivalentes de Trolox/g de cáscara para Kiowa y Kanza respectivamente. Cabe destacar que

en este estudio la capacidad antioxidante, polifenoles totales y taninos condensados fue de 4.5, 6 y 18 veces mayor en cáscara que en almendra de la nuez.

Por lo que, la nuez pecanera es rica en compuestos polifenólicos lo que confiere una elevada actividad antioxidante contra los radicales libres. Cabe destacar, que la concentración de compuestos polifenólicos y actividad antioxidante fue más elevada en cáscara que en almendra. Estos resultados indican que la nuez pecanera tanto en su almendra como cáscara representa una importante fuente dietética de antioxidantes.

Tabla 4-4 Actividad antioxidante de nuez pecanera cultivada en tres regiones del estado de Chihuahua.

Localidad del Cultivo	ORAC		DPPH ^{•-}		ABTS ^{•-}		HO [•]	
	μmol ET/g		μmol ET/g		μmol ET/g		μmol GAE/g	
	Almendra	Cáscara	Almendra	Cáscara	Almendra	Cáscara	Almendra	Cáscara
Casas Grandes	231.2a	859.5b	104.4a	655.1a	83.4 ^a	594.5a	12.8a	37ab
Delicias	261.5a	680.3b	108.7a	537.8b	81.8 ^a	518.4a	11.9a	30.2b
Jiménez	227.0a	1350.3a	102.6a	720.3a	75.9 ^a	644.2a	13.0a	41.7a

Fuente: (De La Rosa et al., 2011).

Nota: Actividad antioxidante expresada por sus siglas en inglés como ORAC= Capacidad de absorbancia radical oxígeno, DPPH^{•-}=Actividad secuestrante del radical DPPH^{•-}, ABTS^{•-}= Actividad secuestrante del radical ABTS^{•-} y HO[•]= Actividad secuestrante del radical hidroxilo respectivamente. Para ORAC, DPPH^{•-}, ABTS^{•-} la actividad fue expresada en μmol de equivalentes de trolox (ET) por gramo de muestra en peso fresco. Para HO[•] la actividad se expresó en μmol de ácido gálico equivalentes, por siglas en inglés, GAE por gramo de muestra en peso fresco.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa entre muestras (n=4, Tukey P<0.05)

Actividad Antimicrobiana.

Existe evidencia de actividad antimicrobiana de extractos de cáscara de nuez. En reciente investigación realizada por (Do Prado et al., 2014) utilizando extractos con elevado contenido

de compuestos polifenólicos y taninos condensados, y significativa actividad antioxidante (DPPH⁻, ABTS⁻) obtenidos por infusión, infusión con secado por aspersion e hidroalcohólicos han demostrado actividad antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Bacillus cerus*. Los tres extractos evaluados en las pruebas de mínima concentración inhibitoria y mínima concentración bactericida demostraron acción antimicrobiana y bactericida contra estos microorganismos relacionados con enfermedades causadas por alimentos.

En otra investigación realizada por (Osorio et al., 2010) extractos polifenólicos de cáscara de nuez pecanera obtenidos vía etanólica fueron probados contra hongos patógenos de plantas. Se evaluaron ocho especies patogénicas entre las que se encontraban *Pythium sp.*, *Colletotrichum truncatun*, *Colletotrichum coccodes*, *Alternaria alternata*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium solani*, *Fusarium sambucinum* y *Rhizoctonia solani*. Los extractos de nuez pecanera tuvieron un efecto fungistático contra *A. alternata*, *F. solani* y *F. verticilloides*, mientras que exhibieron un efecto fungicida contra *Pythium sp.*, *C. coccodes*, *C. truncatun*, *F. sambucinum*, y *R. solani*, lo que demuestra que la cáscara de nuez representa un subproducto atractivo en la producción de extractos con un amplio espectro de actividad antibacteriana y antifúngica.

Actividad Anti-hipercolesterolemica.

Algunos estudios han señalado que la inclusión de nuez en las dietas disminuye el colesterol, lipoproteínas y lípidos en sangre. Esta disminución ha sido asociada a su contenido de compuestos bioactivos, pero también a su calidad nutritiva en cuanto a micronutrientes, esteroides, fibra y a la presencia de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Kris-Etherton et al., 1999). Así, (Rajaram et al., 2001) evaluó los efectos de una dieta 1, en donde 30 % de la energía provenía de grasa vegetal comestible, y la comparó con otra dieta en donde el 20% de la energía se reemplazó por nuez pecanera en 28 sujetos de los cuales 14 fueron hombres y 14 mujeres. Los resultados indican que ambas dietas mejoraron el perfil de lípidos, pero la dieta que incluía nueces redujo significativamente ($P < 0.001$) el colesterol total, las lipoproteínas de baja densidad y los triacilglicéridos en un 6.7%, 10.4% y 11.1% respectivamente. Además, las lipoproteínas (a) y apo-lipoproteínas séricas también disminuyeron cuando los sujetos consumieron nueces con relación a los que tomaron la dieta 1. De lo anterior, se deduce que la nuez pecanera, la cual es rica en ácidos grasos monoinsaturados, puede ser recomendada para individuos que requieran dietas bajas en colesterol o bien como dieta habitual para individuo sanos.

De la misma manera, en otro estudio reportado por (Morgan et al., 2000) se demostró que las lipoproteínas de baja densidad disminuyeron en un grupo de siete hombres y tres mujeres que consumieron 28 g de nueces pecaneras por día durante ocho semanas con respecto a los que consumieron dietas normales sin nueces, resultando en el inicio, a la semana cuatro y ocho concentraciones de 2.61, 2.35 y 2.46 mmol/L respectivamente. Asimismo, a la semana ocho el total de colesterol y lipoproteínas de alta densidad del grupo tratado disminuyeron significativamente ($P < 0.05$) respecto al grupo control; siendo para el colesterol de 4.22 contra

5.02 mmol/L y para las lipoproteínas de 1.37 contra 1.47 mmol/L. Cabe destacar que la cantidad de fibra dietética y soluble, grasa monoinsaturada y saturada, así como magnesio y la densidad energética fue significativamente más elevada en el grupo de estudio que en el control. Sin embargo, el peso e índice de masa corporal no cambiaron en ambos grupos. Estos resultados indican que la inclusión de nueces pecaneras en la dieta es recomendable cuando la ingesta de energía y la ganancia potencial de peso son recomendables.

Actividad anti-inflamatoria.

Algunas investigaciones han identificado diferentes bioactivos presentes en los extractos de la cáscara de nuez pecanera asociados a propiedades anti-inflamatorias como el ácido gálico, pro-antocianinas, ácido clorogénico, catequinas, ácido elágico, etc. (Hwang et al., 2014; Trevisan et al., 2014). Uno de los principales compuestos bioactivos presentes en extractos acuosos de cáscara de nuez pecanera, es el ácido gálico, el cual se ha observado pudiera tener efectos fotoprotectores en piel al inducir la síntesis de pro-colágeno e inhibir algunas moléculas pro-inflamatorias implicadas en el envejecimiento, como la interleucina (IL)-6 que induce la producción de metaloproteinasas de matriz (MMP-1), y esta a su vez degrada el colágeno, una proteína que da soporte estructural a la piel (Hwang et al., 2014).

Aplicación en la industria: Alimentaria, Cosmética, Farmacia.

Debido a las actividades biológicas que contienen diversas plantas o sus componentes como pueden ser la corteza de árboles de pinos, abetos y maple (Royer et al., 2013) hierbas, especias; así como residuos agroindustriales obtenidos del procesamiento de alimentos como cereales, frutas y oleaginosas como la nuez pecanera, entre otros (Chandrasekaran, 2013), existe un gran interés de valorizar su aprovechamiento orientado al sector alimentario, cosmético y farmacéutico en el desarrollo de productos nutraceuticos, cosmeceuticos y farmaceuticos (Chandrasekaran, 2013; Royer et al., 2013).

Alimentos.

En productos alimenticios, por ejemplo se menciona el uso potencial de extractos ricos en polifenoles obtenidos de pastas agotadas de aceite de ajonjolí como un antioxidante efectivo en aceites de soya y girasol sustituyendo el uso del butilhidroxianisol (Mohdaly, Smetanska, Ramadan, Sarhan, & Mahmoud, 2011) También se ha valorado el uso potencial de los extractos etanólicos de cáscara de nuez como antimicrobiano contra microorganismos que causan enfermedades por alimentos como *Staphylococcus aureus*, y *Listeria monocytogenes* (Do Prado et al., 2014). Asimismo, los productores de alimentos están interesados en el desarrollo de productos que contengan compuestos con la cantidad y concentración necesarias para prevenir algunas enfermedades tal sería el caso del uso de los flavonoides (Ochoa & Ayala, 2004), y las

fracciones ricas en fibra dietética con actividad antioxidante que pueden además impartir color a los alimentos (Özdemir et al., 2014), las cuales se pueden obtener de las cáscaras y almendras de la nuez pecanera, no obstante, hasta ahora no han sido evaluados para el desarrollo de alimentos nutraceuticos y funcionales.

Cosméticos.

Se está explorando consistentemente el uso de fitocompuestos en productos cosméticos en el cuidado de la piel que aportan beneficios terapéuticos más allá de lo estético, llamados también cosmeceúticos, se mencionan su inclusión en productos de uso tópico como geles y cremas para tratar acné, eczema, tonificadores y humectantes (Padilla-Camberos, E., Flores-Valdés M.A., García-Fajardo, J.A., Urzúa-Esteva, E., Lugo-Cervantes, E. y García-Carvajal, 2015). De este modo, se sugiere que los flavonoides, abundantemente presentes en la nuez y cáscara, son agentes efectivos para prevenir el envejecimiento de la piel debido a que ejercen un efecto fotoprotector contra la radiación UV (Epstein, 2009; Menaa et al., 2014).

Farmacia.

Los compuestos bioactivos presentes en la nuez y cáscara tienen un elevado potencial en aplicaciones farmacéuticas, de esta manera, se reporta que el ácido gálico, el cual se ha observado que pudiera tener efectos en piel al inducir la síntesis de pro-colágeno e inhibir algunas moléculas pro-inflamatorias implicadas en el envejecimiento, como la interleucina (IL)-6 (Hwang et al., 2014). También se indica que los compuestos flavonoides constituyen drogas terapéuticas efectivas pues poseen actividades anti alérgicas, anti osteoporóticas y anti tumorales (Di Carlo et al., 1999). En este sentido se ha reportado que flavonoides como la epigallocatequina tiene efectos antiproliferativos contra el cáncer de piel (Chinembiri et al., 2014). Además, se ha señalado que los ácidos grasos esenciales como el linoleico, presente en forma abundante en el aceite de nuez, son precursores de la síntesis de ácidos grasos poliinsaturados como araquidónico, eicosapentanoico y docosahexanoico, que participan en numerosas funciones celulares, y que a nivel cerebral pueden contribuir a retardar la aparición de enfermedades como el mal del Parkinson y Alzheimer (Youdim, Martin, & Joseph, 2000).

Por lo anterior, es evidente el enorme potencial nutricional, funcional, nutraceutico, cosmeceútico y farmacéutico que tienen los diversos biocompuestos presentes en la almendra, cáscara y aceite de la nuez pecanera.

Prospectiva de investigación de la nuez

Actualmente en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. se están realizando esfuerzos en la valorización de la nuez pecanera y sus subproductos bajo el concepto de su aprovechamiento integral que a continuación se detalla.

Aprovechamiento integral de la nuez pecanera.

El aprovechamiento de la nuez, comprende el desarrollo de procesos de extracción y/o separación innovadores, con el fin de utilizar integralmente la cáscara, aceite, y pasta agotada de aceite, en función de los metabolitos de interés que contienen dichas fracciones, así como el desarrollo de ingredientes y productos con potencial aplicación en alimentos, farmacia y cosmética (Ver Figura 4-1).

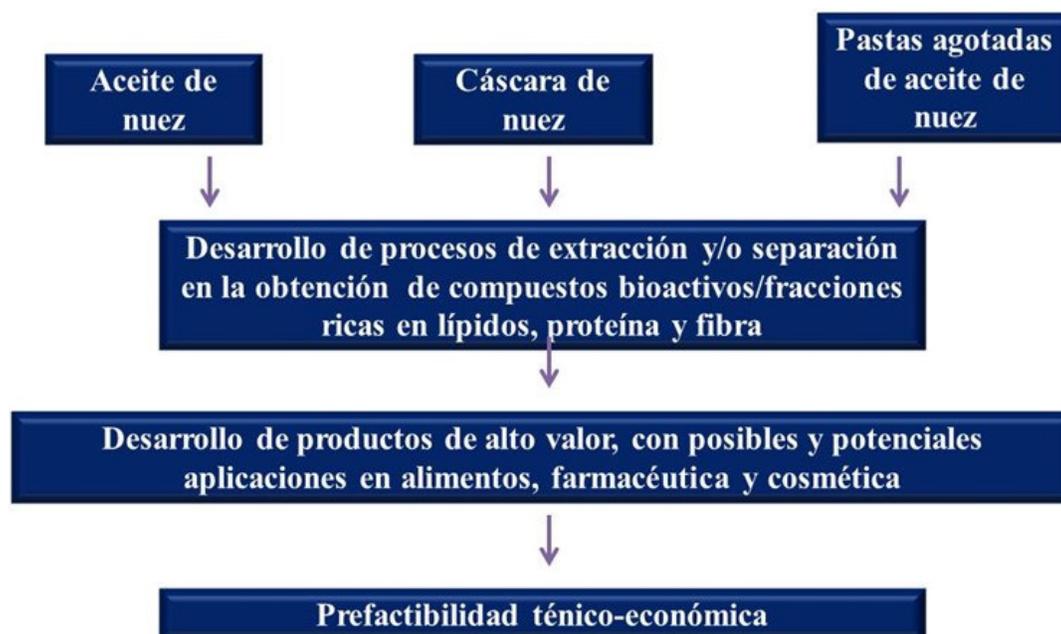


Figura 4-1 Descripción del aprovechamiento integral de la nuez pecanera mediante la extracción y/o separación de sus compuestos bioactivos a partir de sus principales fracciones y su aplicación potencial.

La cáscara de la nuez pecanera representa un 40-50% de peso total, que se utiliza en pavimentación, enriquecimiento de suelos y abrasivos suaves (Lim, 2012); no obstante, es un residuo agroindustrial que puede ser utilizado como una fuente de compuestos bioactivos, con el fin de mejorar su gestión.

El aceite de nuez pecanera contiene mayor cantidad de grasas insaturadas (ácido oleico, linoleico, palmítico, esteárico, linolénico) y el contenido de grasas saturadas es menor en comparación con otras oleaginosas comerciales como las almendras, avellanas, entre otras; además no se han reportado ácidos grasos tipo trans. Al extraer el aceite de nuez, la pasta agotada es un subproducto que puede ser utilizado como materia prima, debido a que es un material rico en fibra, proteína y otros componentes importantes (Joshi, et al., 2015), por lo que se podría

integrar como ingrediente funcional, es decir que beneficie la salud del consumidor, en diferentes matrices o para el desarrollo de nuevos productos a partir de estos subproductos (Ver Figura 4-2).

Es evidente el elevado potencial que tienen las principales fracciones de la nuez como aceite, cáscara y pastas agotadas de aceite orientados a la obtención de compuestos bioactivos, e ingredientes funcionales ricos en lípidos, proteína y fibra; sin embargo, es necesario estudios de las variedades regionales sobre funciones específicas, así como la implementación de procesos de extracción y separación innovadores utilizando tecnología de vanguardia, que puedan ser explotados por los sectores alimentario, cosmético y farmacéutico principalmente. Con este planteamiento se busca promover el uso de la nuez pecanera en la elaboración de productos novedosos de elevada calidad. Además de ayudar al sector agrícola e industrial pecanero a innovar procesos y productos con el fin de promover su comercialización.



Figura 4-2 Almendra y cáscara de nuez pecanera potencialmente aprovechables en la obtención de biocompuestos.

Conclusiones

La elevada disponibilidad y potencial que tienen los residuos y subproductos de la nuez pecanera, como fuente de compuestos funcionales, nutraceuticos, cosmeceuticos y farmaceuticos plantean un reto científico y tecnológico hacia el desarrollo de procesos innovadores con tecnología de vanguardia para su aprovechamiento integral con el fin de reintegrarlos a la cadena productiva en beneficio de la salud de los consumidores, incrementando su sustentabilidad y reduciendo su impacto ambiental.

Referencias

- Chandrasekaran, M. (2013). *Valorization of Food Processing By-Products* (1st ed.). Boca de Raton, FL: CRC Press.
- Chinembiri, T., du Plessis, L., Gerber, M., Hamman, J., & du Plessis, J. (2014). *Review of Natural Compounds for Potential Skin Cancer Treatment. Molecules* (Vol. 19). <https://doi.org/10.3390/molecules190811679>
- De La Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf1034306>
- Di Carlo, G., Mascolo, N., Izzo, a a, & Capasso, F. (1999). Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life Sciences*, 65(4), 337–353. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(99\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(99)00120-4)
- Do Prado, A. C. P., a Silva, H. S., da Silveira, S. M., Barreto, P. L. M., Vieira, C. R. W., Maraschin, M., ... Block, J. M. (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Industrial Crops and Products*, 52, 552–561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.031>
- do Prado, A. C. P., Manion, B. A., Seetharaman, K., Deschamps, F. C., Barrera Arellano, D., & Block, J. M. (2013). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. *Industrial Crops and Products*, 45, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.042>
- Do Prado, A. C. P., Manion, B. a., Seetharaman, K., Deschamps, F. C., Barrera Arellano, D., & Block, J. M. (2013). Relationship between antioxidant properties and chemical composition of the oil and the shell of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch]. *Industrial Crops and Products*, 45, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.042>
- Epstein, H. (2009). Cosmeceuticals and polyphenols. *Clinics in Dermatology*, 27(5), 475–8. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2009.05.011>
- Gu, L., Kelm, M. a., Hammerstone, J. F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., & Prior, R. L. (2003). Screening of Foods Containing Proanthocyanidins and Their Structural Characterization Using LC-MS/MS and Thiolytic Degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7513–7521. <https://doi.org/10.1021/jf034815d>
- Gu, L., Kelm, M. a, Hammerstone, J. F., Beecher, G., Holden, J., Haytowitz, D., ... Prior, R. L. (2004). Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *The Journal of Nutrition*, 134(3), 613–617.

- Hwang, E., Park, S.-Y., Lee, H. J., Lee, T. Y., Sun, Z.-W., & Yi, T. H. (2014). Gallic Acid Regulates Skin Photoaging in UVB-exposed Fibroblast and Hairless Mice. *Phytotherapy Research : PTR*, 1788(May), 1778–1788. <https://doi.org/10.1002/ptr.5198>
- Joshi, A. U., Liu, C. Q., & Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 325–331. <https://doi.org/DOI.10.1016/j.lwt.2014.08.038>
- Kris-Etherton, P., Yu-Poth, S., Sabate, J., Ratcliffe, H., Zhao, G., & Etheron, T. (1999). Nuts and their bioactive constituents: effect on serum lipids and other factors that affect disease risk. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 504–11. Retrieved from <http://ajcn.nutrition.org/content/70/3/504s.short>
- Lim, T. K. (2012a). *Carya Illinoensis*. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (Vol. 2, pp. 867–878). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1764-0>
- Lim, T. K. (2012b). *Carya Illinoensis*. In *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants* (pp. 51–57). Springer Science+Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2534-8_3
- Menea, F., Menea, A., & Tréton, J. (2014). Polyphenols against Skin Aging. *Polyphenols in Human Health and Disease*, 819–830. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00063-3>
- Mohdaly, A. A. A., Smetanska, I., Ramadan, M. F., Sarhan, M. A., & Mahmoud, A. (2011). Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 952–959. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.018>
- Morgan, Wanda A; Clayshulte, B. J. (2000). Pecans lower low density lipoprotein.pdf. *Journal of The American Dietetic Association*, 100(3), 312–318.
- Ochoa, C., & Ayala, A. (2004). Los Flavonoides : Apuntes Generales y su Aplicación en la Industria de Alimentos. *Ingeniería Y Competitividad*, 6(2), 93–104.
- Ojeda-Barrios, D., Vota, A., María, A., Adriana, O., Díaz, L., César, J., ... Francisco, G. (2010). Análisis FODA y Perspectivas del Cultivo de Nogal Pecanero en Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 27, 348–359. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14114743006>
- Osorio, E., Flores, M., Hernández, D., Ventura, J., Rodríguez, R., & Aguilar, C. N. (2010). Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya Illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.017>
- Özdemir, K. S., Yılmaz, C., Durmaz, G., & Gökmen, V. (2014). Hazelnut skin powder: A new

brown colored functional ingredient. *Food Research International*, 65, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.060>

Padilla-Camberos, E., Flores-Valdés M.A., García-Fajardo, J.A., Urzúa-Esteva, E., Lugo-Cervantes, E. y García-Carvajal, Z. Y. (2015). Cosméticos y Cosmecéuticos en México. *Revista Médico-Científica de La Secretaría de Salud de Jalisco*, 2, 89–95.

Plan Rector del Sistema Producto Nuez. (2012). *Plan rector del sistema producto nuez*.

Rajaram, S., Burke, K., Connell, B., Myint, T., & Sabate, J. (2001). A monounsaturated fatty acid-rich pecan-enriched diet favorably alters the serum lipid profile of healthy men and women. *Journal of Nutrition*, 131(9), 2275–2279.

Royer, M., Prado, M., García-Pérez, M. E., Diouf, P. N., & Stevanovic, T. (2013). Study of nutraceutical, nutricosmetics and cosmeceutical potentials of polyphenolic bark extracts from Canadian forest species. *PharmaNutrition*, 1(4), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2013.05.001>

Schwartz, E., Tzulker, R., Glazer, I., Bar-Ya'akov, I., Wiesman, Z., Tripler, E., ... Amir, R. (2009). Environmental Conditions Affect the Color, Taste, and Antioxidant Capacity of 11 Pomegranate Accessions' Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(19), 9197–9209. <https://doi.org/10.1021/jf901466c>

Trevisan, G., Rossato, M.F., Hoffmeister, C., Müller, L.G., Pase, C., Córdova, M.M., Rosa, F., Tonello, R., Hausen, B.S., Boligon, A.A., Moresco, R.N., Athayde, M.L., Burger, M.E., Santos, A.R., Ferreira, J. (2014). Antinociceptive and antiedemogenic effect of pecan (*Carya illinoensis*) nut shell extract in mice: a possible beneficial use for a by-product of the nut industry. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 25(4), 401–410. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2013-0137>

Venkatachalan, M., & Sathe, S. K. (2006). Chemical composition of selected edible nut seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4705–4714. <https://doi.org/10.1021/jf0606959>

Villarreal-Lozoya, J. E., Lombardini, L., & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] cultivars. *Food Chemistry*, 102, 1241–1249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.024>

Youdim, K. a, Martin, a, & Joseph, J. a. (2000). Essential fatty acids and the brain: possible health implications. *International Journal of Developmental Neuroscience: The Official Journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 18(4–5), 383–399. [https://doi.org/10.1016/S0736-5748\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0736-5748(00)00013-7)

