

Composición fisicoquímica y capacidad antioxidante del fruto del pecanero en condiciones de año de elevada producción ("on") y de año de baja producción ("off")

M.A. Flores-Córdova¹, P. Berzoza-Vasquez², E. Sánchez-Chávez^{1,*}, J.I. Sáenz Solís², S. Guerrero-Morales² y J. Hernández-Carrillo²

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias. Av. 4 Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. C.P. 33089. Ciudad Delicias, Chihuahua. México

² Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UACH, Km 2.5 carretera Delicias a Rosales, Campus Delicias, C.P 33000. Ciudad Delicias, Chihuahua, México

Resumen

El consumo de alimentos ricos en compuestos bioactivos conteniendo proteína vegetal de alta calidad, como los frutos secos, ha incrementado debido a la necesidad de un estilo de vida saludable. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la caracterización físico-química, contenido de fenoles totales, taninos y capacidad antioxidante de la cáscara y grano de la nuez pecana (*Carya Illinoensis*) variedad Western Schley en año de elevada producción denominado "on" (2013) y en un año poco productivo denominado "off" (2014). La caracterización físico-química se determinó por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) el contenido de compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu, la actividad antioxidante por el método DPPH radical (1,1-difenil-1,2-picrihidrazil) y los taninos condensados por la prueba de la vainillina. Los resultados obtenidos demostraron que los compuestos presentes en la cáscara y grano fueron afectados por los ciclos productivos "on" y "off", existiendo diferencias significativas en varios de los parámetros estudiados. El grano presentó un alto valor calórico y un elevado contenido de lípidos. En el año poco productivo "off" se obtuvo la mayor concentración de compuestos en la cáscara, con 167,07 mg g⁻¹ de fenoles, 373,08 mg g⁻¹ de capacidad antioxidante y 690,15 mg g⁻¹ de taninos. El grano es rico como alimento energético y compuestos bioactivos que proporcionan una alta actividad antioxidante y beneficios para la salud. La alta concentración de fitoquímicos en las cáscaras indica que las pecanas pueden ser una buena fuente de antioxidantes y pueden ser utilizadas como materia prima para la futura aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria.

Palabras clave: Alternancia, pecanero, fenoles, cáscara, ciclo productivo, físico-química.

Abstract

Physico-chemical composition and antioxidant capacity of the pecan fruit in high ("on") and low-productive conditions ("of")

The consuming of foods containing high levels of bioactive compounds containing with quality vegetable protein, such as nuts, has increased in the last years due to the need of a healthy lifestyle. The aim of this study was to evaluate the physicochemical characterization, content of total phenols, condensed

* Autor para correspondencia: esteban@ciad.mx

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2016.016>

tannins and antioxidant capacity of the shell and grain of the pecan (*Carya illinoensis*) variety Western Schley in a high productive year (called "on") (2013) and in a low-productive year (called "off") (2014). The physicochemical characterization was determined by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC), the content of phenolic compounds was evaluated using the Folin-Ciocalteu method, the antioxidant activity was evaluated using the radical DPPH (1,1-diphenyl-1,2-picrihidrazil) method, and the condensed tannins were determined using the vanillin test. The results showed significant differences in the compounds found in the shell and edible portion between the years "on" and "off". The edible kernel had a high calorific value and high content of lipids. During the low productive year, the concentration of compounds found in the sell was highest in phenols (167,07 mg g⁻¹) antioxidants (373,08 mg g⁻¹) y condensed tannins (690,15 mg g⁻¹). The grain is an energy rich food containing bioactive compounds that provides high antioxidant activity and health benefits. The high concentration of phytochemicals in the shells indicates that they can be a good source of antioxidants and may be used as raw material in the pharmaceutical and food industry in the future.

Key words: Alternate bearing, pecan tree, phenols, shell, production cycle, physicochemical.

Introducción

México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en la producción de nueces pecanas (*Carya illinoensis*) por detrás de EE.UU. Estas nueces pecaneras han sido reconocidas como alimento saludable por sus numerosos beneficios como la protección de enfermedades del corazón (FDA, 2003). Diversos estudios y ensayos han demostrado que el consumo diario de 42 g de este fruto seco puede disminuir radicalmente el riesgo de enfermedades cardiovasculares (de la Rosa et al., 2011) y algunas características del síndrome metabólico, así como disminuir la concentración plasmática de la inflamación de biomarcadores (Urpi-Sarda et al., 2012). Además, estos frutos son una buena fuente de altas cantidades de proteína vegetal, vitaminas, minerales, ácidos grasos insaturados y fibra dietética (Wu et al., 2004). Por otra parte, diversos estudios han encontrado que la nuez pecana ha sido clasificada entre los alimentos con alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en los granos entre los que se encuentran los flavan-3-oles, antocianidinas (Harnly et al., 2006), proantocianidinas (Gu et al., 2004), y más recientemente ácido elágico (De la Rosa et al., 2011; Robins et al., 2015) ácido gálico (Bolling et al.,

2011, Villareal-Lozoya et al., 2007), ácido camárico, quercetina (Padilla et al., 2008) y taninos condensados, encontrándose altas cantidades de catequina en pecana (Malik et al., 2009). Estos compuestos con peso molecular relativamente alto han demostrado poseer una marcada actividad antioxidante, 20 veces más fuerte que la vitamina E, los cuales contribuyen a la promoción de la salud (Chen et al., 2008) debido a que los compuestos antioxidantes presentan la estabilización de los radicales libres evitando el daño oxidativo de las células (Kornsteiner et al., 2006; Pinheiro do Prado et al., 2009b). Las especies reactivas del oxígeno (ROS) son los radicales libres que se encuentran naturalmente en el cuerpo humano. Cuando las condiciones ambientales o el estrés contenidos en los ROS son excesivas, el sistema de defensa del cuerpo ya no puede manejar estas especies altamente reactivas causando daño, el cual se ha relacionado con varias enfermedades y condiciones crónicas tales como las enfermedades autoinmunes (Morgan et al., 2005). Además, se ha encontrado que los taninos condensados tienen la capacidad de actuar como inhibidores no competitivos de la enzima xantina oxidasa, una de las mayores generadoras de radicales libres en el metabolismo celular (Fine, 2000) ya que los radicales libres son

agentes nocivos para la salud, los cuales representan un riesgo en la formación de tumores y formas de cáncer (Huetz et al., 2005). Sin embargo, los taninos condensados han sido estudiados respecto a su actividad antioxidante, de tal manera que se han relacionado en la prevención de daños al ADN causados por radicales libres y el posterior desarrollo de células mutantes o cancerígenas (Okuda, 2005). Por lo que, se han encontrado una correlación inversa entre el consumo de alimentos ricos en compuestos fenólicos como la nuez y la incidencia de enfermedades cardiovasculares, y su influencia positiva sobre enfermedades crónicas, enfermedades pulmonares obstructivas y diabetes tipo 2 (Figueroa, 2012). Sin embargo, existen diversos factores que regulan la concentración de los compuestos fenólicos, por lo tanto, es importante la caracterización de datos actuales sobre los cambios y composición de los compuestos en diferentes ciclos de cultivo. Además, la cáscara de la pecana también contienen alto contenido de compuestos fenólicos (Pinheiro do Prado et al., 2009b). Sin embargo, las investigaciones realizadas en la cáscara están menos avanzadas que las de la parte comestible (grano).

Por otra parte, es corriente la alternancia de producción en los pecaneros, caracterizada por un año de alta producción "on" y uno de baja producción "off" (Rohla et al., 2007), por lo que es importante la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas y cuantificación de compuestos fenólicos del grano y de la cáscara en un año productivo ("on") y en otro con baja productividad ("off") y, con ello, determinar qué diferencias pudieran presentar en relación a la composición de los compuestos citados. Si bien en la bibliografía se encuentran algunos trabajos en los que se evalúan factores físicos y químicos en la nuez pecana, no se ha encontrado ningún trabajo con datos comparativos entre años de elevada producción con años de baja producción.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización fisicoquímica, analizando el contenido de compuestos fenólicos totales, taninos y actividad antioxidante del grano y cáscara del pecanero, en dos ciclos de producción, año altamente productivo "on" (2013) y poco productivo "off" (2014), de la variedad 'Western Schley' cosechadas en la región de Delicias, Chihuahua México.

Material y métodos

Material vegetal

El presente trabajo de investigación se realizó durante dos ciclos de producción: 2013 (año productivo) y 2014 (año no productivo) en una huerta comercial en producción ubicada en el Municipio de Delicias, Chihuahua, México. Las características de la huerta nogalera en estudio fue la siguiente: árboles de nogal pecanero cv. Western Schley en producción, de una edad de 24 años y con una distancia de plantación de 12 x 12 m. La producción del año 2013 considerado altamente productivo fue de 2,4 t-ha⁻¹, mientras que el año poco productivo (2014) fue de 1,2 t-ha⁻¹. Las propiedades físico-químicas del suelo fueron las siguientes: 0,84% de materia orgánica, libre de CaCO₃, pH de 8,1, 42,28% de arena, 40% de limo y 17,72% de arcilla, conductividad eléctrica de 1,01dS m⁻¹, porcentaje de saturación 41,5%, Capacidad de Intercambio Catiónico de 24,96 m.e-100 g de suelo⁻¹, N-NO₃⁻ 13,8 kg-ha⁻¹, fósforo 5,03 ppm, calcio 4012,8 ppm, magnesio 301,4 ppm, sodio 288 ppm, potasio 440 ppm, hierro 1,66 ppm, zinc 2,46 ppm, manganeso 3,10 ppm, cobre 0,42 ppm. La huerta nogalera se ubica a una altitud máxima de 1408 m.s.n.m. El clima de la región es semiárido extremoso, con una temperatura máxima de 41,7°C y una mínima de -14,1°C, su media a nivel es de 18,3°C. Tiene una precipitación pluvial media anual de

563,9 mm con un promedio de 61 días de lluvia y una humedad relativa del 50% con vientos dominantes del sudoeste (Tabla 1). El tipo de suelo predominante es del tipo yermoso-

les háplicos que predominan en toda su extensión con textura media en pendiente de nivel o quebrada con asociaciones de litosoles y/o regosoles eútricos.

Tabla 1. Condiciones climáticas de los años 2013 y 2014. Delicias, Chihuahua. México
Table 1. Climatic conditions of years 2013 and 2014. Delicias, Chihuahua. México

	Año 2013				Año 2014			
	Precipitación		Temperatura °C		Precipitación		Temperatura °C	
	mm	Máx	media	Mín	mm	Máx	media	Mín
Enero	18,5	17,5	9,3	1	1,2	19,7	10,4	1,1
Febrero	1,9	21	11,6	2,3	0,6	24,2	14,1	3,9
Marzo	1,1	25,7	15,6	5,5	11	24,4	15,5	6,6
Abril	0,5	28,9	18,9	8,9	1,2	27,6	18,2	8,8
Mayo	7,6	31	21,9	12,8	1,8	30,7	21,2	11,6
Junio	52,1	36	27,4	18,8	4,2	35,1	26,5	17,9
Julio	204,9	31,6	25,1	18,5	116,2	32,3	25,1	18
Agosto	99,1	31,7	24,6	17,5	136,4	30,3	23,6	16,9
Septiembre	103	29,1	22,6	16,1	132,3	29,3	23,1	17
Octubre	33,9	27,4	18,7	10,1	9,1	29,3	20,6	11,9
Noviembre	45,9	20,8	13,4	6	32,5	21,2	12,9	4,6
Diciembre	49,6	18,4	10,6	2,8	6,6	20,3	11,5	2,6

Información Hidroclimática de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos Conagua.

Las muestras de fruto de pecana fueron seleccionadas de las mismas parcelas de árboles en producción para cada ciclo productivo 2013 y 2014 con tres repeticiones. Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., para ser descascaradas y molidas en un procesador de alimentos y almacenadas en bolsas de plástico a -4°C, hasta su uso. Para su análisis posterior, las muestras fueron secadas en un horno de aire (marca Felisa a 40°C), durante 24 h.

El grano fue molido en un procesador de alimentos y desgrasado según la metodología establecida por Villareal-Lozoya et al. (2007) con ligeras modificaciones, una vez homogenizadas las muestras fueron filtradas al vacío a 35°C. Se almacenaron a -20°C hasta su análisis. Las muestras de polvo de la cáscara y grano, fueron homogenizados con 5 ml de metanol, 5 ml de cloroformo y 2,5 ml de una solución de NaCl al 1%. El homogenizado fue filtrado y centrifugado a 8273,20 g durante 10 minutos, para usarse en la cuantificación de los compuestos. El diseño

experimental fue completamente al azar, con tres repeticiones y se seleccionaron dos ciclos productivos diferentes correspondiéndose con un año altamente productivo "on" (2013) y otro poco productivo "off" (2014).

Caracterización físico-química de la nuez

La parte comestible del grano y la cáscara de la pecana fueron aleatoriamente seleccionadas para medir el peso, utilizando una balanza analítica (AND HR120 2002, Japón). Las medidas de diámetro de 100 cáscaras y parte comestible fueron tomadas utilizando un vernier Stainless hardened Maurer. La composición fisicoquímica se determinó de acuerdo a la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000) y conforme a lo establecido a las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

Humedad. La determinación de la humedad se realizó utilizando el método 925,40 de secado en capsula abierta. Para ello, se preparó la cápsula para humedad, se dejó enfriar y se pesó. Se agregaron 2 g de la muestra, distribuyéndola sobre la cápsula y se dejó secar. Una vez seca, se dejó enfriar y se pesó, llevándola a peso constante.

Ceniza. La determinación de ceniza se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-066-S-1978. Se preparó el crisol para la determinación de cenizas por calcinación, agregándole 2 g de la muestra, se llevó a peso constante y se calculó el porcentaje de cenizas.

Proteína. La determinación de la proteína cruda se realizó mediante el procedimiento de cuantificación de nitrógeno total por el método Microkjeldahl (AOAC, 2000).

Fibra. La determinación de fibra cruda se determinó, mediante la norma mexicana NMX-F-090-S-1978.

Grasa. La determinación de la grasa se realizó por el método Goldfish. Se preparó el matraz del equipo Goldfish, se dejó enfriar y se pesó.

Se montó el equipo y se colocaron dentro del cartucho de celulosa 2 g de muestra se tapó con algodón y se introdujo dentro del equipo. Se agregó el solvente (éter de petróleo), se dejó a reflujo durante 3 horas. Una vez terminada la extracción, se eliminó el solvente por medio de una destilación para recuperar el éter, quedando la grasa en el matraz, se pesó el matraz con el residuo y se determinó el porcentaje de grasa. Norma mexicana NMX-F-427-1982.

Carbohidratos. La determinación de los carbohidratos se realizó por diferencia de los otros parámetros.

Cuantificación de polifenoles totales

El total de fenoles totales fue determinado mediante el método descrito por Singlenton y Rossi (1965) usando ácido gálico como estándar. En un tubo de ensayo, se colocaron 1,5 ml de Na_2CO_3 al 2%, y se agregaron 0,5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteau al 50%, 2,75 ml de H_2O desionizada y 0,5 ml del extracto. A continuación la mezcla fue incubada a temperatura ambiente y en oscuridad durante 60 minutos. La absorbancia fue medida a 725 nm en un espectrofotómetro Thermo Scientific, G 10S UV Vis, (EE. UU.). Los resultados fueron expresados como miligramos de ácido gálico por gramo de peso seco. Se realizó una curva de calibración. La linealidad se determinó entre 0,50 y 4,0 $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$, utilizando un estándar de ácido gálico de grado reactivo de alta pureza, la calibración se llevó a cabo por triplicado.

Cuantificación de taninos condensados

El contenido de taninos condensados, fue evaluado usando el ensayo de vanillina de Price et al. (1978). Se tomó un 1 ml del extracto y se agregaron 4 ml de una solución de HCl al 8% en MeOH (v/v) y una solución de vainillina en MeOH al 4% (v/v) en una por-

porción 1:1. La mezcla resultante se mantuvo en baño maría a 30 °C durante 20 minutos; finalmente, se midió la absorbancia a 500 nm. Los taninos se cuantificaron mediante una curva estándar a base de catequina. Se realizó una curva de calibración. La linealidad se determinó entre 0,02 y 1 g l⁻¹ utilizando un estándar de catequina de grado reactivo de alta pureza, y la calibración se llevó a cabo por triplicado. El contenido total de taninos se expresó como mg equivalentes de catequina en peso fresco de la muestra (mg EC g⁻¹).

Capacidad antioxidante DPPH

El radical DPPH (1,1-difenil-1,2-picrihidrazil) es un compuesto estable que presenta una intensa coloración violeta y que absorbe radiación a 517 nm, de forma que su concentración se pueda determinar mediante métodos espectrofotométricos (Kim et al., 2002). La reacción se llevó a cabo al mezclar 3,9 ml de solución de radical de DPPH con 0,1 ml de extracto vegetal. La mezcla se conservó a temperatura ambiente y protegida de la luz durante 30 minutos. Posteriormente se procedió a medir la absorbancia a 517 nm utilizando un espectrofotómetro UV/Vis. El blanco utilizado fue metanol al 80% y se realizó una curva de calibración. La linealidad se determinó entre 0 y 800 µM, utilizando un estándar de Trolox de grado reactivo de alta pureza, y la calibración fue por triplicado. Los análisis se llevaron a cabo por triplicado y los resultados se expresaron como mg TEAC g⁻¹ (Trolox actividad antioxidante equivalente) de peso seco.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos de los dos años productivo y poco productivo fueron sometidos a un análisis de varianza y se realizó separaciones de medias mediante test de Tukey.

Previo al análisis de varianza, los parámetros se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk resultando que los datos tuvieron un comportamiento normal ($P \geq 0,05$). La correlación entre las variables fue evaluada con el coeficiente de Pearson, con un nivel de significación de ($P < 0,05$) mediante programa estadístico SAS ® (Statistical Analysis System) ver. 9,0 (SAS, 2002).

Resultados y discusiones

Análisis físicos de la cáscara y grano

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en los parámetros de peso de cáscara, peso de grano y ancho del grano. En la Tabla 2 se muestran los resultados de los análisis físicos de la cáscara y grano, con un promedio para la cáscara equivalente a un 44% del peso total y para el grano 56% del peso total, para el año altamente productivo 2013. El peso promedio del ciclo poco productivo 2014 en cáscara fue del 48% del peso total y en el grano 52% del peso total, lo cual indica que el porcentaje de cáscara fue mayor y algo inferior al peso del grano ($P \geq 0,05$). Además, el año productivo 2013 presentó los valores más altos del peso del fruto (5,10 g). Sin embargo, en el promedio del diámetro no hubo diferencias en cáscara y grano en ambos años. Santos et al. (2013) evaluaron el peso de la masa de otro fruto seco, la nuez Brasil con un promedio de 3,81 g, y el alto y ancho del diámetro con valores de 3,41 y 1,60 cm un poco más bajos a los obtenidos en este estudio. Desafortunadamente no existen trabajos en nuez pecanera para comparar los resultados obtenidos.

Análisis físico-químicos de la cáscara y grano

Los resultados obtenidos en la composición físico-química del año con elevada carga "on" (ciclo 2013) y con poca carga "off" (ci-

Tabla 2. Caracterización física de la cáscara y grano de nuez pecana variedad Western Schley'
 Table 2. Physical characterization of the shell and the edible nut in the pecan variety 'Western Schley'

Parámetros	Año productivo "on" (2013)	Año poco productivo "off" (2014)
Peso total de la nuez (g)	5,15* a	4,80 a
Peso cáscara (g)	2,24 dce	2,30 dc
Peso grano (g)	2,86 c	2,50 dc
Diámetro alto cáscara (cm)	3,78 b	3,93 b
Diámetro ancho cáscara (cm)	2,08 de	1,94 de
Diámetro ancho grano (cm)	2,64 dc	2,73 c
Diámetro ancho grano (cm)	1,64 e	1,54 e

En una fila, *medias con distinta letra, son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey con $P < 0,05$.

clo 2014), presentaron diferencias significativas en los parámetros evaluados (Tabla 3). En el grano se mostraron valores altos de energía total, tanto en "on" como en "off", debido al alto contenido de lípidos, lo que significa un porcentaje significativo de la ingesta diaria requerida para una dieta de 2000 cal por día. En relación al contenido de cenizas obtenidas en el grano, éste fue menor en el año "on" y de mayor en el año "off", sin embargo, en la cáscara el contenido de ceniza fue distinto, más elevado en "on" y menor en "off" demostrando ser una buena fuente de compuestos minerales. Mares et al. (2012) en estudios similares con pecanas de la variedad 'Wichita' obtuvo en el grano 1,05% de cenizas, siendo un poco más elevados a los obtenidos en el presente estudio, probablemente la diferencia se deba al área geográfica, fertilización o tipo de suelo. Los resultados para proteína, en el año poco productivo "off" fueron mayores y para el año "on", menores en el grano y cáscara respectivamente, sin diferencias significativas. En lípidos, el año productivo "on" (2013) presentó los más altos valores y en el año "off" (2014) los más bajos% en el grano, siendo similares a los resultados obtenidos por Mares et al. (2012) en el grano, así como los resultados obtenidos

en fibra. Cabe tener en cuenta que la necesidad diaria de fibra en humanos es del 5 al 10% (Salas-Salvado et al., 2006). Kris-Etherton et al. (1999) mencionaron, que el efecto reductor del colesterol en la ingesta de la nuez es mayor que la estimada a partir del intercambio de ácidos grasos, y que los componentes distintos a los ácidos grasos como la fibra inciden en las enfermedades del corazón. Por su parte, Oro et al. (2008) reportaron valores en el grano de 69,4% en lípidos, 7,8% en fibra, 9,9% en proteína y 3,7% en humedad. Estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo, sin embargo fueron evaluadas otras variedades ('Barton', 'Shoshone', 'Shawnee', 'Choctaw' y 'Cape Fear') lo que puede explicar las diferencias. Ros (2010) encontró valores en lípidos de 72%, fibra 8,4% y proteína 9,2% en pecanas. En otro estudio de cáscara de la pecana Pinheiro do Prado et al. (2013) reportaron valores de fibra 49,73%, humedad 7,95%, proteína 2,21% y lípidos 0,31%. En dicho estudio, las variaciones en los resultados obtenidos, dependieron de la variedad, localidad y año de producción (Shahidi y Miraliakbari, 2005). No obstante, no se han encontrado en la bibliografía datos comparativos entre años de elevada producción con años de baja producción.

Tabla 3. Composición físico-química de la cáscara y grano de la nuez pecana variedad 'Western Schley'
 Table 3. Physical-chemical composition of the shell and edible nut in the pecan variety of 'Western Schley'

	Año productivo "on" 2013		Año poco productivo "off" 2014	
	Cáscara	Grano	Cáscara	Grano
Fibra bruta (%)	58,90 a	7,10 cb	57,91 a	6,75 c
Proteína (%)	1,57 cd	8,04 b	1,64 d	9,99 b
Lípidos (%)	0,34 d	64,11 a	0,526 d	58,49 a
Humedad (%)	7,96 b	2,27 cbd	6,55 c	1,70 d
Cenizas (%)	2,32 cbd	1,28 cd	1,98 d	1,40 d
Carbohidratos ¹ (%)	28,89	17,17	31,36	21,69
Energía (Kcal/g) ²	128,26	677,88	136,78	653,01

En una fila, medias con distinta letra son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey con $P < 0,05$.

¹ Carbohidratos determinados por diferencia.

² (Proteína + carbohidratos) x 5,46.

Por último, es importante destacar que, la pecana es un interesante alimento de origen vegetal, debido a su alto contenido de grasas y proteínas, además, de un bajo porcentaje de carbohidratos, el cual, no obstante, depende de la variedad y del año de producción (Montoya et al., 2010). Sin embargo, en estudios anteriores de composición en frutos secos se ha demostrado que poseen importantes cantidades de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados y un alto contenido de energía (Luna y Guerrero-Beltrán, 2013), por lo cual se añade una comparación del contenido nutricional de diferentes frutos secos (Tabla 3). El contenido de energía para *Prunus dulcis* (almendra), *Bertholletia excelsa* (nuez Brasil), *Arachis hypogaea* (cacahuete), *Anacardium occidentale* (anacardo), *Corylus avellana* (avellana), *Pistacia vera* (pistacho) y *Junglans regia* (nuez) fueron inferiores a los valores encontrados para la nuez pecana en el presente estudio exceptuando la nuez procedente de *J. regia*, la cual tuvo el contenido de energía incluso superior al de la

nuez pecana. Estos datos confirman el alto valor energético que presenta la nuez pecana en comparación con otros frutos secos. En relación a los ácidos grasos, *B. excelsa* y *J. regia* presentaron un alto contenido de grasas con valores similares a los obtenidos en este estudio, sin embargo *P. dulcis*, *A. hypogaea*, *A. occidentale*, *C. avellana*, y *P. vera* tuvieron un menor contenido que osciló entre el 36 y el 53% (Tabla 4). Por lo tanto, los tres tipos de nueces (*B. excelsa*, *J. regia* y *C. illinoensis*) constituyen un tipo de alimento nutricionalmente más concentrado, por lo que es probable que sea un importante contribuyente a los efectos beneficiosos para la salud, el consumo de frutos secos como la nuez pecana (Ros, 2010).

Contenido de polifenoles fenoles totales

Los compuestos fenólicos, son necesarios en los seres humanos para proteger al organismo del estrés oxidativo y son biodisponibles después del consumo con la capacidad

Tabla 4. Composición físico-química de diferentes frutos secos (%)
 Table 4. *Physical-chemical composition of different nuts (%)*

Frutos secos	Fibra	Carbohidratos	Proteína	Grasa	Humedad	Cenizas	Energía (kcal)	Referencia
<i>Prunus dulcis</i> 	14,26	10,03	27,9	42,9	1,98	3,08	536	Freitas et al. (2012)
<i>Bertholletia excelsa</i> 	8,5*	5,69	16,5	65,5	4,19	4,32	653	Queiroga et al. (2009) *Ros (2010)
<i>Arachis hypogaea</i> 	14,04	25,21	2,8	35,5	1,34	0,97	507.4	Luna y Guerrero-Beltrán (2013)
<i>Anacardium occidentale</i> 	3,2	1,4	36,3	49,1	7,2	2,8	592.7	Akinhanmi y Akintokin (2008)
<i>Corylus avellana</i> 	10,4*	20,1	23,3	53,4	7,5*	3,4	653.4	Rezaei et al. (2014) *Ros (2010)
<i>Pistacia vera</i> 	9,0*	24,6	24,4	45,6	2,7	2,7	606	Chung et al. (2013) *Ros (2010)
<i>Juglans regia</i> 	6,4**	4,86	18,0	68,8	4,1	4,18	711.1	Pereira et al. (2008) *Ros (2010)

de proveer una significativa carga antioxidante (Blomhoff et al., 2006). Los resultados obtenidos en el contenido de fenoles en el presente estudio mostraron diferencias ($P < 0.05$) más elevadas en el año poco productivo "off" comparado con el año altamente productivo "on" ($P < 0.05$), tanto en grano como en cáscara (Figura 1). En el año poco productivo (2014) se encontraron los valores más altos de ácido gálico (AG) con 167,07 mg AG g⁻¹ en la cáscara siendo dos veces más que el grano con 82,41 mg AG g⁻¹. Ambos contenidos fueron significativamente superiores en el año poco productivo (2014) comparando respectivamente los contenidos en cáscara y grano (Figura 1). En el año altamente productivo (2013) se obtuvo un contenido de ácido gálico con 148,43 mg AG g⁻¹ tres veces más en la cáscara que en el grano frente a 49,93 mg AG g⁻¹). Estos resultados sugieren que la concentración de compuestos fenólicos fue afectada por el año de produc-

ción, siendo superiores en el año poco productivo. Conner y Worley (2000) mencionaron que una tendencia temprana a la sobrecarga dará alternativamente nueces de mala calidad que se producen en el cultivo de un año con carga. Estudios realizados por Villareal-Lozoya et al. (2007) en pecanas encontraron que la cáscara contenían de 378 a 633 mg g⁻¹ de ácido clorogénico (CAE) cinco veces más compuestos fenólicos que en el grano con 62 a 106 mg CAE g⁻¹. Los resultados encontrados en este trabajo difieren un poco con los encontrados por los autores anteriormente citados, sin embargo, las diferencias pueden estar asociadas a los diferentes métodos de extracción, al manejo del ensayo, así como a las diferentes variedades que se evaluaron. Además, la tendencia de los árboles pecaneros a dar sus frutos en ciclos alternos pueden causar las diferencias en los atributos de las composiciones del contenido de fenoles, como muestran los resultados. En cuanto a la

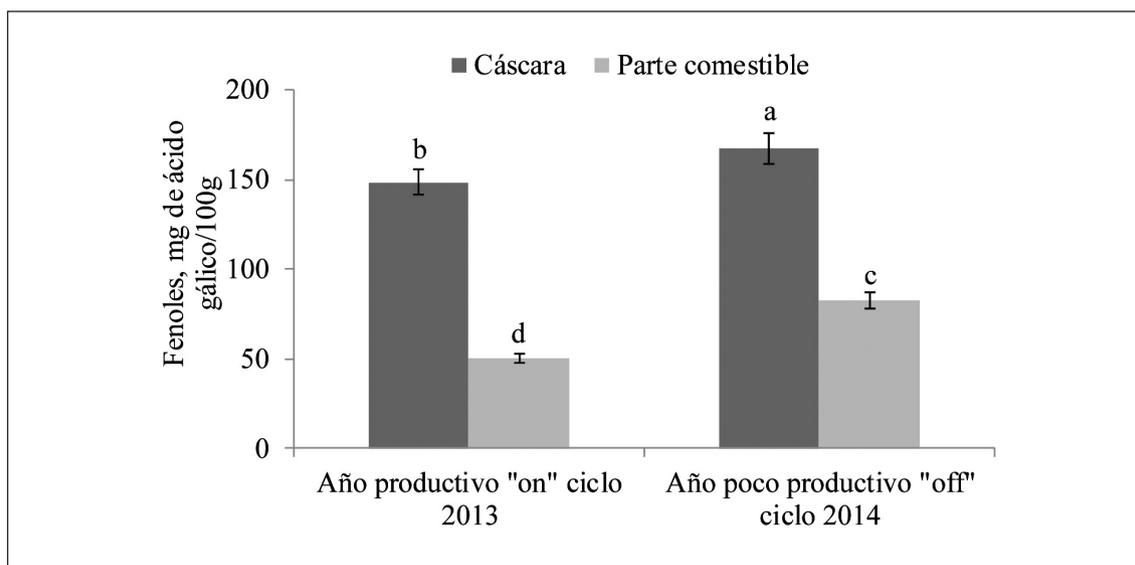


Figura 1. Contenido de fenoles en el año productivo "on" (2013) y año poco productivo "off" (2014), en nuez pecanas de la variedad 'Western Schley'. Letras distintas indican diferencias al $P < 0,05$.

Figure 1. Content of phenols in the pecan nuts of the variety 'Western Schley' in the year "on" (2013) and "off" (2014).

comparación con los contenidos encontrados en otros frutos secos, cabe mencionar que Pereira *et al.*, (2008) evaluaron las propiedades bioactivas de algunas variedades de nogal (Franquette, Lara, Marbot, Marvette, Mellanise y Parisienne) y mostraron que el contenido de fenoles totales se encontraba en un rango de 58,78 a 95,06 mg g⁻¹, los cuales son similares a los valores encontrados para la nuez pecanera en el presente trabajo.

Contenido de taninos condensados

Los resultados obtenidos respecto al contenido de taninos condensados muestran mayores valores para las cáscaras que para el grano, siendo significativamente mayores para el año poco productivo 2014 ($P < 0,05$) (Figura 2). El contenido en catequina (CA) en grano fue muy similar ambos años. Estas diferencias sugieren que la actividad antioxi-

dante se vio afectada por la alternancia de producción. Los estudios realizados por Villareal-Lozoya *et al.* (2007) encontraron valores de 634 mg CA g⁻¹ en cáscara muy similares a los de este estudio, no obstante se desconoce si se trata de frutos recolectados en un año de alta o baja producción. En cuanto al contenido en grano, sus valores fueron de 47 a 25 mg AC g⁻¹, algo superiores a los obtenidos en este trabajo, teniendo en cuenta que, además, las variables evaluadas fueron (Kanza, Niacono, Kiowa, Pawnee, Shawnee, Desirable). Por otra parte, Pinheiro do Prado *et al.* (2009a) reportaron que el contenido de taninos condensados en el grano fue de 42,9 a 21,4 mg GAE g⁻¹, y de 38 a 45 mg CE g⁻¹ para la cáscara, más bajos a los obtenidos en el presente estudio, probablemente a que ellos utilizaron la infusión de la cáscara y aquí se utilizó el polvo de cáscara. La importancia de los compuestos polifenólicos cono-

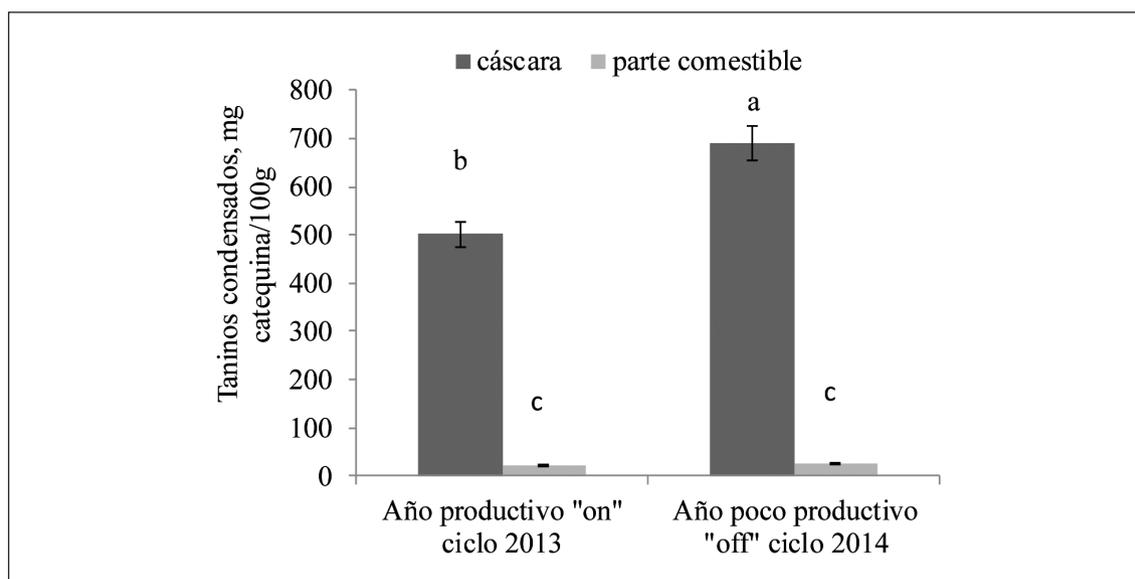


Figura 2. Contenido de taninos condensados en el año productivo "on" (2013) y año poco productivo "off" (2014), en pecanas de la variedad 'Western Schley'. Letras distintas indican diferencia al $P < 0,05$.

Figure 2. Content of condensed tannins in pecan nuts of the variety 'Western Schley' in year "on" (2013) and year "off" (2014).

cidos como taninos condensados, es que poseen estructuras fenólicas que les confieren la característica de formar complejos con proteínas, minerales y otras macromoléculas (Reed, 2010).

Capacidad antioxidante

Los resultados muestran que las nueces pecana son ricas fuentes en antioxidantes (Figura 3). El total de actividad antioxidante de cáscara y grano medida con el radical DPPH (1,1-difenil-1,2-picrihidrazil) fue superior en el año poco productivo 2014 comprado con el año altamente productivo 2013 ($P < 0,05$). En este parámetro, en cambio, se encontraron valores muy similares en las cáscaras ambos años. El año "off" (2014) presentó los mayores valores de actividad antioxidante (Trolox) con 375,09 mg Trolox g^{-1} en la cáscara, y 137,20 mg Trolox g^{-1} en el grano, y el año "on" mostró va-

lores también elevados de 363,34 mg Trolox g^{-1} en la cáscara y 115,39 mg Trolox g^{-1} en el grano. Los resultados indican que las muestras exhiben una potente actividad antioxidante y estos compuestos se encuentran mayormente en la cáscara independientemente del año, con altas concentraciones de taninos condensados, entre los cuales se han identificado monómeros y dímeros de taninos complejos como son la catequina y las galocatequinas (Pinheiro do Prado et al., 2014). Sin embargo, el 50% correspondiente a la misma se pierde cuando se elimina como desecho, coincidiendo con otros estudios (Villarreal-Lozoya et al., 2007; Trevizol et al., 2011). De la misma manera, Osorio et al. (2010) describieron el uso de residuos agro-industriales, como fuentes potenciales de compuestos bioactivos que representan una atractiva alternativa de uso agrícola. La capacidad antioxidante de la cáscara de la pecana por infusión (TEAC) fue evaluada por Pinheiro do Prado et al. (2009b)

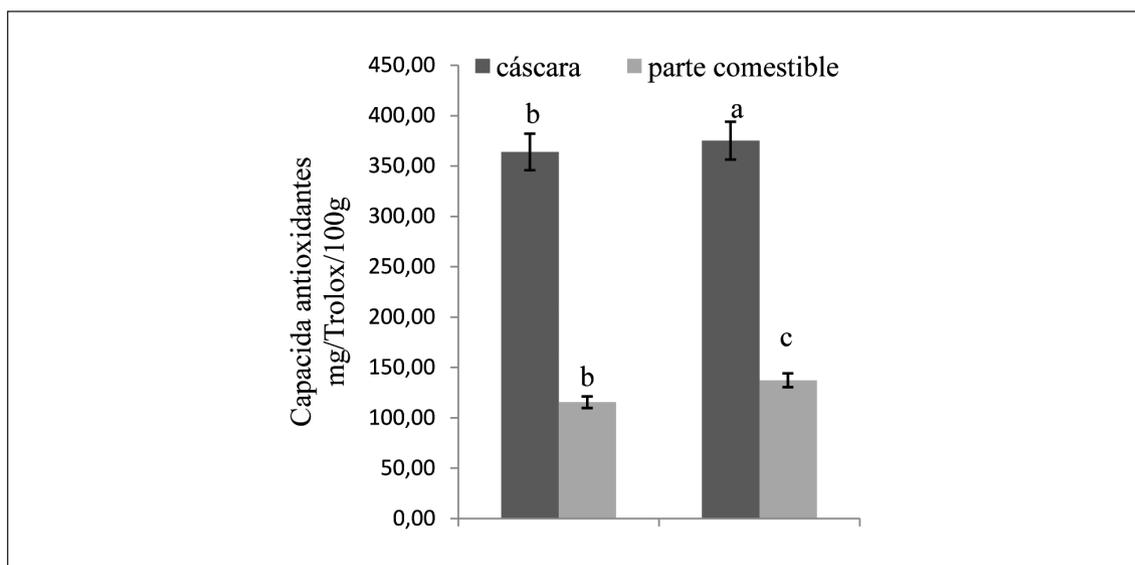


Figura 3. Capacidad antioxidante en el año productivo "on" (2013) y año poco productivo "off" (2014), en pecanas de la variedad 'Western Schley'.

Figure 3. Antioxidant capacity in pecan nuts of the variety 'Western Schley' in year "on" (2013) and the year "off" (2014).

mostrando resultados de 305 a 488 mg TEAC g⁻¹. En otro estudio Yang et al. (2009) evaluaron la capacidad antioxidante del grano de diferentes frutos secos y determina que las nueces tenían los valores más altos con 427,0 μmol TEAC g⁻¹ seguido de los *Arachis hypogaea* con 81,3 μmol TEAC g⁻¹. De acuerdo a los resultados obtenidos, una gran porción de la capacidad antioxidante fue atribuible al total de compuestos fenólicos, lo que significa que a mayor cantidad de fenoles es más alta la actividad antioxidante. Finalmente el ciclo productivo también afectó significativamente su contenido. Estos resultados sugieren que el consumo de pecanas podrían tener los mismos efectos beneficios para la salud que han presentado ciertas frutas y vegetales, además de su posible uso como materia prima para la ob-

tención de antioxidantes naturales de utilidad en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Padilla et al., 2008).

La capacidad antioxidante a través del sistema DPPH presentó correlación con los fenoles, ($P < 0,05$) con un (Figura 4). Esta correlación muestra que la mayoría de las muestras de pecana pueden estar bien representadas por el DPPH, lo cual se respalda por el resultado obtenido. Con similares resultados, Pinheiro Prado et al. (2009b) obtuvieron un coeficiente de correlación de $r^2 = 0,9980$ en la medición de la cáscara de pecana, lo cual corrobora los resultados de este trabajo. Así mismo, capacidad antioxidante y taninos, lo que indica una alta actividad antioxidante de los subproductos para actuar como antioxidantes.

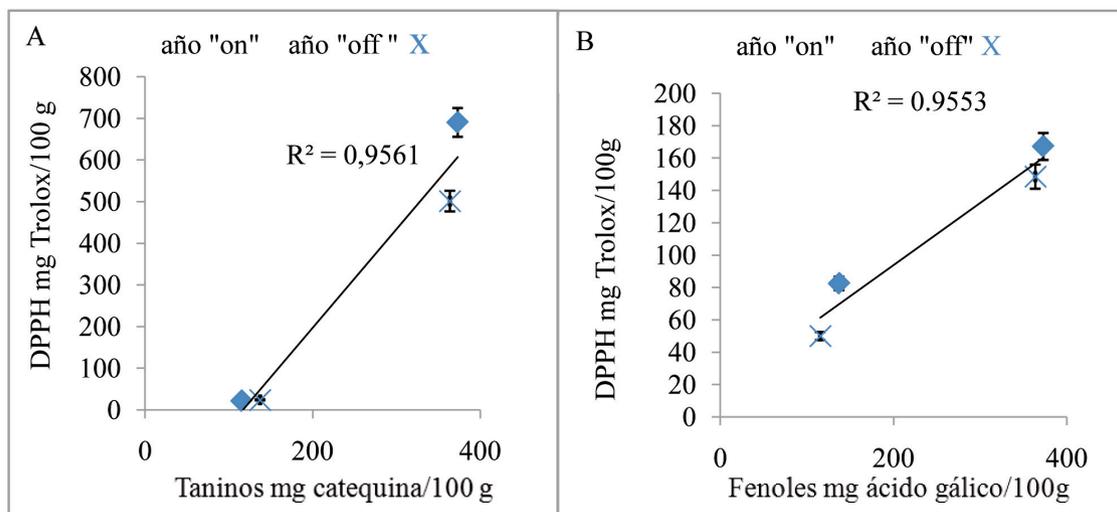


Figura 4. A) Correlación entre la capacidad antioxidante medida en el ensayo de DPPH y el contenido total de fenoles, en el año poco productivo y el año altamente productivo. B) Correlación entre la capacidad antioxidante medida en el ensayo de DPPH y el contenido total de taninos, en el año poco productivo y el año altamente productivo.
 Figure 4. A) Correlation between the antioxidant capacity measured in the DPPH test and the total phenol content in pecan nuts of the variety "Western Schely" in the year "on" (2013) and the year "off" (2014).
 B) Correlation between the antioxidant capacity measured in the DPPH test and the total tannin content in pecan nuts of the variety "Western Schley" in the year "on"(2013) and the year "off"(2014).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo demostraron, que los compuestos presentes en la cáscara y parte comestible del grano de pecana fueron afectados por los ciclos productivos "on" y "off", existiendo diferencias significativas en varios de los parámetros analizados. El año poco productivo (2014) presentó la mayor concentración de compuestos en la cáscara, fenoles y taninos y la mayor capacidad antioxidante. El grano obtenido en año poco productivo es rico como alimento energético y en compuestos bioactivos que le proporcionan un alto valor nutricional. La alta concentración antioxidante en las cáscaras indica que pueden ser utilizadas como materia prima para una aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria.

Agradecimientos

Al Conacyt-México por el apoyo otorgando para la realización de la Estancia Postdoctoral de la Dra. María Antonia Flores Córdova. Así mismo, a la MC. Hilda Sáenz Hidalgo por su apoyo prestado en la caracterización físico-química.

Bibliografía

- Akinhanmi TF, Akintokin PO (2008). Chemical composition and physicochemical properties of cashew nut (*Anacardium occidentale*) oil and cashew nut shell liquid. *Journal of Agricultural Food and Environmental Sciences* 2: 1-10.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (2000). *Official Methods of Analysis* (17th). Ed. AOAC International. Guithersbur, MD, EE, UU.
- Blomhoff R, Carlsen MH, Frost Andersen L, Jacobs DR (2006). Health benefits of nuts, potential role of antioxidants. *British Journal of Nutrition* 96: 52-60.
- Bolling BW, Oliver ChCY, McKay DL, Blumberg JB (2011) Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutrition Research Reviews* 24: 244-275.
- Chen C-YO, Blumberg JB (2008). Phytochemical composition of nuts. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition* 70: 500-503.
- Chung KH, Shin KO, Jeong HH, Choi K (2013). Chemical composition of nuts and seeds sold in Korea. *Nutrition Research and Practice* 7: 82-88.
- Conner PJ, Worley RE (2000). Alternate bearing Intensity of pecan cultivars. *Hortscience* 35(6): 1067-1069.
- De la Rosa AL, Parrilla AE, Shahidi F (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and Shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 152.
- FDA (2003). Qualified health claims: Letter of enforcement discretion. Nuts and coronary heart disease. Disponible en <http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/LabelingNutrition/ucm072926.htm> (21 de abril 2015).
- Figueroa F (2012). Composición fenólica, lipídica, actividad antioxidante y biodisponibilidad in vitro de 10 genotipos de nueces cultivados en la Región de Murcia. Universidad Católica san Antonio, Facultad de Ciencias de la Salud 1: 37-68.
- Freitas JB, Fernandes DC, Czedler LP, Lima JCR, Sousa AGO, Naves MMV (2012). Edible seeds and nuts grown in Brazil as sources of protein for human nutrition. *Food and Nutrition Sciences* 3: 857-862.
- Gu L, Kelm MA, Hammerstone, JF, Beecher G, Holden J, Haytowitz D, Gebhardt S, Prior RL (2004). Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *Journal Nutrition* 134: 613-617.
- Harnly JM, Doherty RF, Beecher GR., Holden JM, Haytowitz DB, Bhagwat S, Gebhardt S (2006). Flavonoid content of U.S. vegetables, fruits and nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 9966-9977.

- Huetz P, Mavaddat N, Mavri J (2005). Reaction between ellagic acid and an ultimate carcinogen. *Journal Chemical Information and Modeling* 45: 1564-1570.
- Kim DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolics phytochemicals. *Journal Agricultural Food Chemistry* 50: 3713-3717.
- Kornsteiner M, Wagner KH, Elmadfa I (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry* 98: 381-385.
- Kris-Etherton PM, Yu-Poth S, Sabate J, Ratcliffe HE, Zhao G, Etherton TD (1999). Nuts and their bioactive constituents: effects on serum lipids and other factors that affect disease risk. *The American Journal of Clinical Nutrition* 70: 504-511.
- Malik NSA, Perez JL, Lombardini L, Cornacchia R, Cisneros-Zevallos L, Bradford J (2009). Phenolic compounds and fatty acid composition of organic and conventional grown pecan kernels. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 2207-2213.
- Mares ME, Espitia OF, Del Rincon CC, Barboza CE, Bautista JM, Avevedo LG, León MF. Estudio y caracterización molecular de las proteínas de reserva de la nuez (*Carya illinoensis*). XIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 25 de Mayo de (2012). Monterrey N.L. pp. 56-59.
- Morgan, PE, Sturgess AD, Davies, MJ (2005). Increased levels of serum protein oxidation and correlation with disease activity in systemic lupus erythematosus. *Arthritis and Rheumatism* 52: 2069-2079.
- Montoya LCM, García PTG, Martínez NJY, Vázquez FO, Robles-Ozuna LE (2010). Comportamiento de los ácidos grasos insaturados y vitamina E durante el almacenamiento de nuez (*Carya Illinoensis*), confitada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11: 59-66.
- Luna GJJ, Guerrero-Beltrán JA (2013). Caracterización de jamones adicionados con pastas residuales de la extracción mecánica de aceite de frutos secos. *Scientia Agropecuaria* 4: 77-88.
- Oro T, Ogliari PJ, Amboni RDMC, Barrera-Arellano D, Block JM (2008). Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] acondicionadas en diferentes envases. *Grasas y Aceites* 59: 132-138.
- Osorio E, Flores M., Hernández D, Ventura J, Rodríguez R, Aguilar CN (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: 153-157.
- Padilla AM, Rincón L, Boud-Rached L (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 58: 303-308.
- Pereira JA, Oliveira I, Sousa A, Ferreira ICFR (2008). Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Junglans regia* L.) cultivar. *Food and Chemical Toxicology* 46: 2103-2111.
- Pinheiro do Prado AC, Aragão MA, Fett R, Block JM (2009a). Phenolic compounds and antioxidant activity of pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Knoch] Kernel cake extracts. *Grasas y Aceites* 60(5): 458-459.
- Pinheiro do Prado AC, Aragão AM, Fett R, Block JM (2009b). Antioxidant properties of pecannut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell infusion. *Grasas y Aceites* 60(4): 330-335.
- Pinheiro do Prado, AC, Manion BA, Seetharaman K, Deschaps FC, Barrera AD, Mara BJ (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.
- Pinheiro do Prado AC, Silvestre da Silva H, Mello da Silveira S, Manique BPL, Werneck VRC, Maraschin M, Salvador FSR, Mara BJ (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut (*Carya illinoensis* (Wanenh) C. Koch) shell. *Industrial Crops and Products* 52: 552-561.
- Price ML, Van Scoyoc S, Butler LG (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 26: 1214-1218.

- Queiroga NV, Bakke OA, Pinto RCM, Singh PB, Letelier JC, Conceicao MM (2009). Brazil nut (*Bertholletia excelsa* HBK) seed kernel oil: characterization and thermal stability. *Biofar* 03: 33-42.
- Reed R (2010). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* 73: 1516-1528.
- Rezaei F, Bashshi D, Ghazvini RF, Majd DJ, Porghayouni M (2014). Evaluation of fatty acid content and nutritional properties of selected native and imported hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties grown in Iran. *Journal of applied Botany and Food Quality* 87: 104-107.
- Ros E (2010). Health Benefits of Nut consumption. *Nutrients* 2: 652-682.
- Rohla TCh, Smith MW, Maness ON. (2007). A comparison of return bloom and nonstructural carbohydrates, nitrogen, and potassium concentrations in moderate and severe alternate-bearing pecan cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132(2): 172-177.
- SAS (2002). SAS/STAT users guide: Statics, Ver. 9.00. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1503 pp.
- Salas-Salvado J, Bullo M, Pérez-Heras A, Ros E (2006). Dietary fibre, nuts and cardiovascular diseases. *British Journal of Nutrition* 96: 45-51.
- Santos OV, Correa NCR, Carvalho Jr RN, Costa CEF, Franca LFF, Lanes SCS (2013). Comparative parameters of the nutritional contribution and functional claims of Brazil nut Kernels, oil and defatted cake. *Food Research International* 51: 841-847.
- Shahidi F, Miraliakbari H (2005). Tree Nut Oils. En *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (Ed. Shahidi F). 6th Ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, EE. UU.
- Singlenton VL, Rossi J (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology Viticulture* 16: 144-158.
- Trevizol F, Benvegnú DM, Barcelos RCS, Pase CS, Seat HJ, Tironi DV, Dolci GS, Bouffleur N, Rechiegel P, Burger ME (2011). Comparative study between two animal models of extrapyramidal movement disorders: Prevention and reversion by pecan nut shell aqueous extract. *Behavioural Brain Research* 221: 13-18.
- Urpi-Sarda M, Casas R, Chiva-Blanch G, Romero-Mamani ES, Valderas-Martinez P, Arranz S, Andres-Lacueva C, Llorach R, Medina-Remon A, Lamuela-Raventos RM, Estruch R. (2012). Virgin olive oil and nuts as key foods of the Mediterranean diet effects on inflammatory biomarkers related to atherosclerosis. *Pharmacological Research* 65: 577-583.
- Villareal-Lozoya JE, 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.
- Wu XL, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal Agricultural Food Chemistry* 52: 4026-4037.
- Yang J, Liu RH, Halim L (2009). Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds. *Food Science & Technology Lebensmittel-Wissenschaft-Tech* 42: 1-8.

(Aceptado para publicación el 8 de febrero de 2016)