

Revista Electrónica Nova Scientia

Alternativas orgánicas para disminuir la
aplicación de nitrógeno en nogal pecanero
Organic alternatives to reduce nitrogen
application in pecan

**Juan Manuel Soto Parra¹, Francisco Javier Piña Ramírez¹,
Esteban Sánchez Chávez^{2*}, Ramona Pérez Leal¹, Moisés
Basurto Sotelo¹**

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de
Chihuahua

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Delicias

México

Esteban Sánchez Chávez. E-mail: esteban@ciad.mx

Resumen

Introducción: El nitrógeno es el nutriente más demandado por los árboles de nogal pecanero, por lo que es considerado un factor limitante para su desarrollo, producción y calidad de la nuez. Sin embargo, ante el aumento en el precio de los fertilizantes y sus efectos adversos en el ambiente, actualmente es más evidente la necesidad de aplicar nutrientes de manera sustentable. Una alternativa para disminuir la aplicación de fertilizantes nitrogenados inorgánicos en nogal pecanero, es complementarlo con composta, humus de lombriz, lixiviado de lombriz y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo, como son las micorrizas, entre otros. Por lo que el objetivo del estudio fue reducir la aplicación de nitrógeno inorgánico al suelo mediante la adición de enmiendas orgánicas y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo sin afectar producción ni calidad.

Método: El estudio se realizó en el municipio de Aldama, Chihuahua, durante los ciclos 2010-2012 en árboles 'Western Schley', se utilizó una estructura Taguchi L16 para cuatro factores y cuatro niveles para cada factor: nitrógeno 330, 220, 110 y 0 kg ha⁻¹; composta 0, 2.5, 5.0, 7.5 t ha⁻¹; humus de lombriz (OptiHumus^{MR}) 0, 1.5, 3.0, 4.5 t ha⁻¹ y micorrizas (Sehumic-Vam^{MR}) 0, 7.5, 15.0, 22.5 g pulg⁻¹ de tronco. Se determinó el contenido de materia orgánica y nitratos en el suelo, producción y calidad de la nuez, los cuales se analizaron por superficie de respuesta.

Resultados: A pesar de que para producir 2.9 t ha⁻¹ se logró reducir la aplicación de nitrógeno, este nivel no permitió obtener una buena calidad de la nuez ni alcanzar un contenido adecuado de materia orgánica y nitratos en suelo. Para un rendimiento de 2.9 t ha⁻¹ con 153 nueces kg⁻¹ y 59.4% de nuez comestible, 1.06% de materia orgánica y 183 ppm de nitratos en suelo se requirieron 305 kg de N, 6600 kg de composta, 3500 kg de humus de lombriz y 18 g de micorrizas por pulg⁻¹ de tronco; esta dosis podría asegurar la calidad de la producción actual y proveer al árbol de nutrientes para la siguiente producción.

Discusión o Conclusión: Se logró disminuir la aplicación de nitrógeno hasta 27 kg ha⁻¹ para una producción de 2.9 t ha⁻¹; no obstante, este nutriente por sí solo no permitió incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la calidad de la nuez, por lo que es necesario la adición de enmiendas orgánicas y micorrizas. Con esta información es posible concluir que la fertilización nitrogenada inorgánica complementada con enmiendas orgánicas y micorrizas, pudiera ser una alternativa viable para mejorar la fertilidad del suelo y la producción en nogal pecanero.

Palabras Clave: *Carya illinoensis*; composta; humus de lombriz; micorrizas

Recepción: 05-10-2015

Aceptación: 18-03-2016



Abstract

Introduction: Nitrogen is the nutrient most demanded by pecan trees, therefore, is a limiting factor for development, production and quality of the nut. However, given the increase in fertilizer prices and the effect of overuse of environmental pollution, now becomes more evident the need for nutrients sustainable manner. An alternative to reduce application of inorganic nitrogen fertilizers in pecan is complemented with the application of compost, vermicompost, worm leachate microorganisms and enhancing soil fertility such as mycorrhizae. So the aim of this study was to reduce the use of inorganic nitrogen to the soil by adding organic amendments and enhancers microorganisms' soil fertility without affecting production and quality.

Method: The study was conducted in Aldama Chihuahua, during the 2010-2012 cycles on trees 'Western Schley', used a Taguchi L16 structure to four factors and four levels for each factor: Nitrogen 330, 220, 110 and 0 kg ha⁻¹; compost 0, 2.5, 5.0, 7.5 t ha⁻¹; earthworm humus (OptiHumus^{MR}) 0, 1.5, 3.0, 4.5 t ha⁻¹ and mycorrhizae (Sehumic-Vam^{MR}) 0, 7.5, 15.0, 22.5 g cm⁻¹ trunk. The content of organic matter and nitrates in the soil, production and nut quality was determined, which were analyzed by response surface.

Results: Although it was possible to reduce nitrogen application for a production of 2.9 t ha⁻¹ level did not allow a good quality pecan nut and achieve an adequate content of organic matter and nitrates in the soil. For a yield of 2.9 t ha⁻¹ with 153 nuts kg and 59.4% of edible nut, 1.06% organic matter and 183 ppm of nitrates in ground requi-laughed 305 kg of N, 6600 kg of compost, 3500 kg vermicompost and 18 g mycorrhizal by g cm⁻¹ of trunk; this dose could ensure the quality of current production and provide nutrients to the tree for the next production.

Discussion or Conclusion: It was possible to reduce the application of nitrogen as 27 kg ha⁻¹ for a production of 2.9 t ha⁻¹, so that nitrogen alone can not increase soil fertility and improve the quality of the nut, which is required the addition of organic amendments and mycorrhizae. With these preliminary data, we can conclude that the inorganic nitrogen fertilizer and mycorrhizal supplemented with organic amendments, could be a viable option for improving soil fertility and pecan production alternative.

Keywords: *Carya illinoensis*, compost, earthworm humus, mycorrhizae.

Introducción

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangh) K. Koch) es una especie frutícola de alta rentabilidad, por lo que anualmente se incrementa la superficie dedicada a su cultivo; no obstante, a nivel nacional se obtiene un rendimiento promedio de sólo 1.5 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2014) debido, entre otros aspectos, a las deficiencias y desbalances nutrimentales lo que encarece su manejo, dado el incremento del precio de los fertilizantes. Esto brinda una oportunidad de hacer un uso más racional de los fertilizantes y una transición hacia una fruticultura sustentable que permita un mejor balance nutricional del nogal; para ello, se requiere de un manejo adecuado de la nutrición, pues es una parte importante del proceso de producción que promueve una cosecha de excelente calidad (Sánchez *et al.*, 2009).

Ante esta situación, es imprescindible contar con un programa nutricional que permita incrementar la producción, mejorar la calidad de la nuez, disminuir el índice de alternancia y contribuir a la conservación de los recursos naturales. Una alternativa para disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos es el uso de composta, humus de lombriz, lixiviado de lombriz y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo como las micorrizas, entre otros.

El agua y la fertilización nitrogenada son considerados factores limitantes del nogal, con repercusiones ecológicas, económicas y sociales. Una alternativa potencial es la sustentabilidad del suelo a través del manejo de su fertilidad basado en aporte de materia orgánica y la disminución de la fertilización nitrogenada, aspectos muy importantes ante la presencia de sequías recurrentes. De ahí la importancia de aumentar la capacidad de retención de humedad y su disponibilidad a través del incremento en el contenido de materia orgánica.

La aplicación de enmiendas orgánicas mejora las propiedades físicas, la actividad biológica, la fertilidad de los suelos y la nutrición de los cultivos (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011); además, el uso continuo de micorrizas aumenta la superficie de exploración del sistema radical del nogal, por lo que la absorción de agua, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre es mayor (González-Chávez *et al.*, 2009).

En la mayoría de los suelos el contenido de materia orgánica es bajo pero sus efectos en la función del suelo son importantes (Brady y Weil, 2008), ya que influye en algunas propiedades físicas (Castellanos *et al.*, 2000), químicas y biológicas, especialmente en el horizonte superficial. Asimismo, se relaciona con la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la retención del agua. Ciertos componentes de la materia orgánica son responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo (Whalen y Chang, 2002), también aporta

nutrientes y actúa como un almacén de lenta liberación especialmente para N (Castellanos *et al.*, 2000; Herrera y Lindemann, 2001). Además, proporciona energía y componentes estructurales para la mayoría de los microorganismos del suelo y determina la calidad del mismo (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011). No es práctico tratar de mantener altos niveles de materia orgánica que aquellos que se recomiendan en los mecanismos de control del suelo, planta y clima; por ejemplo, 1.5% de materia orgánica podría ser un nivel excelente para suelos arenosos en climas cálidos (Brady y Weil, 2008); aunque Castellanos *et al.* (2000) señalan un nivel de 1.00 a 1.25% de materia orgánica en zonas desérticas.

Por su parte, el hongo micorrízico provee una mayor superficie radical para la absorción de agua y nutrimentos como N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y Zn (Brison, 1992); también transportan compuestos carbonados de la planta al suelo y tienen efectos penetrantes en la forma y función de las plantas, así como en la composición de la microbiota del suelo (Bethlenfalvay y Barea 1994). Además, reducen e incluso suprimen los daños causados por ataques de patógenos (Schenck, 1982) a través de la mejora en la nutrición de la planta, competencia por lugares de colonización, infección, competencia por fotosintatos, cambios morfológicos y anatómicos en el sistema radical y activación de los mecanismos de defensa (Linderman, 1988; Caron, 1989) asociados con un incremento de la capacidad antioxidante (Hao *et al.*, 2005; Nahiyan y Matsubara, 2012).

Se conocen dos tipos de micorrizas: ectomicorriza y micorriza arbuscular, la primera es la que se forma en nogal pecanero (Tarango *et al.*, 2004) aunque esta última es la más difundida en la naturaleza (Ferrol *et al.*, 2004) y se caracterizan por producir hifas, vesículas y arbusculos en el parénquima radical. El género *Gigaspora* no produce vesículas en el interior de la raíz y *Glomus* puede formarlas dentro o fuera de la raíz (Carling y Brown 1982). Muñoz-Márquez *et al.* (2009) encontraron en huertos de nogal hongos ectomicorrízicos del género *Pisolithus* sp., mientras que los géneros de los hongos micorrízicos fueron *Glomus* y *Gigaspora*, asociados con buena aireación, buen drenaje y presencia de cobertera natural.

Es posible lograr una mayor eficiencia en el uso de nitrógeno aplicándolo de manera fraccionada durante la estación anual, en las etapas críticas de desarrollo del árbol y del fruto, a fin de satisfacer necesidades actuales y futuras de la planta. De esta manera el efecto residual puede trascender la estación actual y manifestarse consistentemente en mayor producción, ya que la eficiencia implica que los nutrientes deben aplicarse acorde con el proceso fisiológico en el que se demandan, de lo contrario puede ocurrir una “carencia transitoria”, aunque el abastecimiento en general sea normal. Además, aplicaciones oportunas de nitrógeno basadas en la dinámica de este elemento en el suelo y en su demanda pueden desempeñar un papel

crucial en el uso eficiente del fertilizante nitrogenado. Con base a lo anterior, la investigación pretende disminuir la aplicación de nitrógeno inorgánico al suelo, mediante la adición de enmiendas orgánicas y microorganismos potenciadores de la fertilidad del suelo, sin afectar producción y calidad.

Materiales y Métodos

Manejo del cultivo y diseño experimental

El estudio se realizó en el municipio de Aldama, Chihuahua, México, durante los ciclos 2010-2012 en el huerto “Los Laureles” en árboles ‘Western Schley’ plantados en 1982 y distribuidos en tresbolillo a 14 X 14 m. La huerta en estudio está ubicada al este del estado de Chihuahua, a 28° 50’ de latitud y 105° 53’ de longitud de y a una altitud de 1,262 m.s.n.m. (Álvarez, 1988). El clima de la región es seco, subtipo seco semi-cálido con lluvias en verano. La temperatura media anual que caracteriza a este clima es mayor de 18.0°C; la temperatura media del mes más frío es inferior a dicho valor, por lo que se considera como invierno fresco, la temperatura media mensual menor se presenta en diciembre y enero con 9.0°C. Su régimen de lluvias es de verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor a 5.0 mm y la precipitación total anual varía entre 300 y 400 mm; el mes más húmedo es julio con 81.3 mm y el más seco marzo con 3.6 mm. El tipo de suelo que predomina en el municipio es el Xerosol, éste es un suelo con horizontes A (0-10 cm) ócrico desarrollado y régimen de humedad arídico, por ubicarse en clima seco, contienen más de 1% de materia orgánica y por su contenido de nutrientes, son considerados de buena fertilidad (INEGI, 2015).

La producción promedio de la huerta en estudio con fertilización nitrogenada durante las temporadas del 2005 al 2011, fue 2.65 t ha⁻¹. El riego se aplicó por inundación cada 15 días durante el periodo comprendido de febrero a septiembre, con una lámina de 12 cm. Las propiedades físicas y químicas del suelo del suelo estudiado se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo de la huerta nogalera en estudio.

Profundidad	Nutrimentos									CaCO ₃	pH	CE	MO	Textura
	NO ₃ -	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn					
	-kg-	-----mg kg ⁻¹ -----							%		dS	%		
										m-1				
0-30 cm	140.6	24.2	655			1.24	0.7	0.4	6.8	1.54	7.8	1.00	0.4	Migajón arcilloso

CE= conductividad eléctrica, MO= materia orgánica

Se utilizó un diseño experimental bajo una estructura Taguchi L16 para cuatro factores y cuatro niveles para cada factor en estudio, con los que se generaron 16 tratamientos con tres repeticiones, cada repetición consistió de un árbol, con 48 árboles en total (Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores y niveles de aplicación estructura Taguchi L16.

Nitrógeno (N) (kg ha ⁻¹)	Compost a (t ha ⁻¹)	Humus lombriz (OptiHumus ^{MR}) (t ha ⁻¹)	Micorrizas (Sehumic-Vam ^{MR}) (g pulg ⁻¹ de tronco) ^a
330	0.0	0.0	0.0
220	2.5	1.5	7.5
110	5.0	3.0	15.0
0	7.5	4.5	22.5
165.0^b	3.8	2.3	11.3

^aEstandarizado a 16 pulgadas de diámetro de tronco, equivalentes a 0, 7, 14 y 21 kg·ha⁻¹. Media simple, promedio del valor máximo y mínimo para cada factor

El nitrógeno se distribuyó en siete aplicaciones según las siguientes concentraciones con respecto al total:

1. Pre-brotación (10 de marzo), 12.5%;
2. Inicio de amarre de fruto (11 de abril), 25%;
3. Crecimiento de fruto (28 de mayo), 12.5%;

4. Estado acuoso (7 de julio), 12.5%;
5. Estado lechoso (6 de agosto), 12.5%;
6. Maduración (13 de septiembre), 12.5%;
7. Recarga en postcosecha (16 de diciembre), 12.5%;

Se utilizó sulfato de amonio ultrasoluble Peñoles^{MR} como fuente nitrogenada (N 20% mínimo, S 23% mínimo, K₂O 0.60% máximo, elementos menores 0.19 ppm máximo). La composta (composición en porcentaje: Nt 1.75, P 0.59, K 2.75, Ca 1.13, Mg 0.82, Na 0.0014; en ppm: NO₃ 84.4, Cu 40.5, Fe 1036.0, Mn 515.0, Zn 107.0; % humedad 28.7, pH 8.74) se aplicó a mediados de marzo. El humus de lombriz (OptiHumus^{MR}, composición en porcentaje: Nt 1.15, P 0.40, K 1.08, Ca 1.62, Mg 0.96, materia orgánica 46.0; en ppm: Cu 41.5, Fe 778.0, Mn 570.0, Zn 104.0, pH CaCl₂ 8.14, C.E. 7.0 dS m⁻¹), se suministró a mediados de mayo.

La composta y el humus de lombriz se aplicaron al voleo, mientras que la micorriza (Sehumic-Vam^{MR}, *Acaulospora scobiculata*, *Gigaspora margarita*, *Glomus fasciculatum*, *G. constrictum*, *G. tortuosum*, *G. geosporum* con 20,000 esporas viables kg⁻¹) se distribuyó en cuatro orificios de 10-15 cm de profundidad alrededor del área de goteo del árbol, aproximadamente, concordando con los puntos cardinales. Esta última fue aplicada a mediados de mayo.

Los tratamientos de fertilización química y orgánica fueron aplicados cada año de estudio.

Variables de respuesta

Fertilidad del suelo. Se tomaron muestras de suelo al inicio y al final del estudio, a una profundidad de 30 cm con un peso promedio de 2.5 kg por cada repetición, a las cuales se les determinaron contenido de materia orgánica (Walkley y Black), contenido de nitratos (Brucina y colorimetría) y fósforo (Olsen).

Rendimiento y calidad de la nuez

Producción. Para la cosecha, se vibraron los árboles, se recolectó la nuez, se pesó por cada árbol (kg) y se extrapoló a producción por hectárea (t).

Número de nueces por kilogramo. Se contaron el número de nueces de una muestra de 300 g y se extrapoló a un kilogramo.

Porcentaje de nuez comestible. Para la determinación del contenido de almendra comestible se seleccionó una muestra de 300 g por repetición; posteriormente, se separó la cáscara de la parte comestible, se pesaron por separado y se determinó el porcentaje de nuez comestible.

Las tres variables anteriores se obtuvieron considerando la Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009.

Análisis estadístico

Dada la naturaleza factorial de la estructura Taguchi empleada, se realizó un análisis de superficie de respuesta cuadrática completa, ajustando la superficie para determinar los niveles de los factores para óptima respuesta (SAS, 1989). Esta técnica se emplea cuando cada factor es estudiado en al menos tres o más niveles, se estima una superficie de respuesta cuadrática por regresión con el método de mínimos cuadrados.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 3 se observa que la producción promedio obtenida es de 2.68 t ha⁻¹ en los tres años de evaluación. Dicho valor es similar a la producción promedio (2.65 t ha⁻¹) con fertilización nitrogenada durante 2005 al 2011; donde la mayor producción y rentabilidad se obtuvo con 320 kg N ha⁻¹, con un promedio de 3.2 t ha⁻¹, una relación beneficio costo residual de \$3.43 y una rentabilidad residual de \$42.23 (Soto *et al.*, 2014). Aunque en este estudio no fue posible producir 3.2 t ha⁻¹, el rendimiento más alto (2.9 t ha⁻¹) se obtuvo al aplicar sólo 27 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 4.6 t ha⁻¹ de composta, 3.4 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 10 kg ha⁻¹ de micorrizas. De acuerdo a estos resultados se confirma que es posible disminuir el aporte de N complementando con composta, humus de lombriz y micorrizas. No obstante, esto representa un costo adicional, con respecto al uso exclusivo de N (1.5 t de sulfato de amonio ha⁻¹ representan alrededor de \$ 7,200.0; además, se incluyen costos de la composta \$ 3,220.00, humus de lombriz \$ 6,800.00 y micorrizas \$ 3,000.00); es decir, se tendría un costo adicional con respecto a la aplicación de nitrógeno, de \$ 5,820.00 lo que representa 80% más.

Cuadro 3. Superficie de respuesta máxima¹ para producción de nuez. Promedio 2010 – 2012.

Regresión		Nitrógeno, enmiendas orgánicas y microorganismos			
		Nitrógeno kg ha ⁻¹	Composta t ha ⁻¹	Humus Lombriz (OptiHumus ^{MR}) t ha ⁻¹	Micorrizas (Sehumic- Vam ^{MR}) g pulg ⁻¹ d t
Linear (L)	0.4173 ²	0.5645 ²	0.3061	0.5432	0.0537
Cuadrática (C)	0.3197	L, C		C	L ³
Productos Modelo	0.3455 0.3697			Composta ⁴	Composta
R ²	0.3016	R ²	C.V. 11.39	μ 2.68	
t ha ⁻¹	Error E.	kg ha ⁻¹			
2.26	0.26	165.0	3.8	2.3	11.3
2.28	0.26	156.2	3.9	2.4	12.0
2.31	0.25	142.6	3.9	2.5	12.3
2.35	0.23	128.0	4.0	2.6	12.4
2.40	0.22	113.3	4.1	2.7	12.4
2.45	0.20	98.7	4.2	2.8	12.4
2.52	0.18	84.2	4.2	2.9	12.3
2.60	0.17	69.8	4.3	3.1	12.2
2.70	0.17	55.5	4.4	3.2	12.1
2.80	0.18	41.3	4.5	3.3	12.0
2.91	0.21	27.1	4.6	3.4	11.8
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial					
+29.0		-84.0	+21.0	48.0	+4.0

¹Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable de acuerdo a estudios de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. ²probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. ³Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ⁴Productos significativos de ese nutriente con el resto.

Sin embargo, la aplicación de enmiendas orgánicas incluye, además de nitrógeno (alrededor de 10 kg de N t⁻¹ de composta con una mineralización alrededor del 50%), 3.5 kg de fósforo, 13 kg de potasio, 10 kg de calcio, 7 kg de magnesio, 30 g de cobre, 800 g de hierro, 350 g de

manganeso y 150 g de zinc en promedio por tonelada de composta, más una cantidad similar del humus de lombriz. Adicionalmente, permite la disponibilidad de reguladores de crecimiento, energía para microorganismos y nutrientes para la fase inicial de colonización de las micorrizas, tales como N y P (Muñoz-Márquez *et al.*, 2009). En esta perspectiva el balance podría facilitar la transición hacia el uso de enmiendas y microorganismos; además, brinda beneficios sobre los agregados del suelo, mayor capacidad de retención de humedad e incremento de los microorganismos benéficos (Hernández-Flores *et al.*, 2013).

En distintas regiones del estado de Chihuahua el rendimiento comercial fluctúa entre 1.44 a 2.36 t ha⁻¹ y el nivel de referencia para alta productividad es de 2.3 t ha⁻¹ año⁻¹ (Tarango, 2007), el rendimiento promedio obtenido en este estudio, superó esos valores, por lo que resulta factible la aplicación de nitrógeno y enmiendas orgánicas.

Respecto al número de nueces por kilogramo se obtuvo un promedio de 163 nueces, que corresponden a una clasificación de la nuez por tamaño “grande” según la Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009 (Cuadro 4).



Cuadro 4. Superficie de respuesta mínima¹ para número de nueces por kilogramo. Promedio 2010 - 2012.

Regresión		Nitrógeno, enmiendas orgánicas y microorganismos			
		Nitrógeno kg ha ⁻¹	Composta t ha ⁻¹	Humus Lombriz (OptiHumus ^{MR}) t ha ⁻¹	Micorrizas (Sehumic- Vam ^{MR}) g pulg ⁻¹ d t
Linear (L)	0.1379 ²	0.2938 ²	0.1651	0.2255	0.2998
Cuadrática (C)	0.4251		HuLom ⁴		C ³
Productos	0.1081				
Modelo	0.1121				
R ²	0.3906	R ²	C.V. 3.41	μ 163	
Nueces kg ⁻¹	Error E.	kg ha ⁻¹			
160	4.72	165.0	3.8	2.3	11.3
159	4.75	177.1	3.6	2.3	10.8
159	4.72	187.7	3.4	2.4	10.5
158	4.64	196.7	3.1	2.5	10.3
157	4.56	204.3	2.8	2.6	10.2
157	4.52	210.4	2.5	2.7	10.3
156	4.53	215.4	2.2	2.9	10.4
155	4.62	219.2	1.9	3.0	10.6
155	4.79	222.6	1.6	3.2	10.8
154	5.03	225.4	1.2	3.3	11.1
153	5.35	228.0	0.9	3.5	11.4
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial					
-4.0		+38.0	-76.0	+52.0	+1.0

¹Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable de acuerdo a estudios de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. ²probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. ³Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ⁴Productos significativos de ese nutriente con el resto.

Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta el tamaño de la nuez se requieren mayores cantidades nitrógeno (228 kg ha⁻¹ N) que aquellas para producción, pero una menor

cantidad de composta. Respecto al humus de lombriz y micorrizas, las cantidades son prácticamente iguales.

Una ventaja de la fertilización fraccionada (en la que se incluye el uso de enmiendas orgánicas) es que se puede considerar las etapas críticas de desarrollo del árbol y de la nuez; también, a través del monitoreo se puede ajustar para contrarrestar la intensidad de la alternancia, así como mejorar la calidad de la nuez que es afectada por este tipo de comportamiento. Esto adquiere mayor relevancia si se desea alcanzar un rendimiento de 5 t ha⁻¹ sin afectar calidad.

El uso de enmiendas orgánicas pudieran reducir alrededor del 50-75% de los costos económicos comparados con la fertilización mineral de N (Rabie y Al-Humiany, 2004) y hasta 32% la fertilización de fósforo (Treseder, 2004).

En esta perspectiva, también se debe priorizar mejorar el porcentaje de nuez comestible pues se requiere un aporte adicional de N de 305 kg ha⁻¹, cantidad muy cercana (320 kg N ha⁻¹) a aquella encontrada por Soto *et al.* (2014), en el mejor año del período estudiado con nitrógeno (2005-2010, año 2009), con mayor tamaño de nuez (127 nueces kg⁻¹), mayor porcentaje de almendra (61%) y un rendimiento de 3.3 t ha⁻¹ superior 75% al control (Cuadro 5).



Cuadro 5 Superficie de respuesta máxima¹ para porcentaje de nuez comestible. Promedio 2010 - 2012.

Regresión		Nitrógeno, enmiendas orgánicas y microorganismos			
		Nitrógeno kg ha ⁻¹	Composta t ha ⁻¹	Humus Lombriz (OptiHumus ^{MR}) t ha ⁻¹	Micorrizas (Sehumic- Vam ^{MR}) g pulg ⁻¹ d t
Linear (L)	0.5011 ²	0.2617 ²	0.0830	0.2612	0.1969
Cuadrática (C)	0.4599	C ³	L, C	C	
Productos	0.2287	Mico ⁴	Mico	Mico	
Modelo	0.3689				
R ² 0.3018		R ²	C.V. 1.97	μ 58.2	
% nuez comestible	Error E.				
56.9	0.98	165.0	3.8	2.3	11.3
57.0	0.98	172.9	3.5	2.4	11.7
57.1	0.98	185.6	3.4	2.5	12.1
57.2	0.96	199.8	3.3	2.5	12.5
57.4	0.93	214.6	3.2	2.6	12.9
57.6	0.88	229.5	3.1	2.7	13.3
57.9	0.82	244.6	3.0	2.7	13.6
58.2	0.76	259.7	2.9	2.8	14.0
58.6	0.70	274.8	2.8	2.8	14.3
59.0	0.66	289.9	2.7	2.8	14.6
59.4	0.66	305.1	2.6	2.9	14.9
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial					
+4.0		+85.0	-32.0	+26.0	+32.0

¹Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable de acuerdo a estudios de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. ²probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. ³Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ⁴Productos significativos de ese nutriente con el resto.

La producción óptima de nuez está correlacionada directamente con la disponibilidad de agua en el suelo (Sparks, 2005), por lo que una mejor condición hídrica del árbol está relacionada

con una mejor condición de humedad del suelo. Cuando la disponibilidad de agua en el suelo es alta y su fluctuación es baja, principalmente durante el llenado de la almendra, la condición hídrica del fruto es favorable lo que permite un mejor llenado de almendra y se estimula la apertura del ruezno (Godoy *et al.*, 2005). En un estudio realizado por Sió y Boixadera (1995) encontraron diferentes contenidos de nitratos en el agua de los pozos que variaron desde 12 hasta 243 ppm. Para una lámina de riego de $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de agua con 62 ppm de NO_3^- las aportaciones de nitrógeno serían de $70 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las aportaciones naturales de nutrientes por el agua de riego deben ser especialmente tomadas en consideración en el caso del fertirriego, donde la absorción por las raíces es más eficiente que en sistemas tradicionales de riego y fertilización (Cadahia, 2005).

Lo anterior, puede ser respaldado al tomar en cuenta los resultados de este estudio sobre el contenido de materia orgánica (MO) (Cuadro 6) y contenido de nitratos del suelo (Cuadro 7).



Cuadro 6. Superficie de respuesta máxima¹ para contenido de materia orgánica (MO) de suelo. Promedio 2010 – 2012.

Regresión		Nutrientes, enmiendas orgánicas y microorganismos			
		Nitrógeno kg ha ⁻¹	Composta t ha ⁻¹	Humus Lombriz (OptiHumus ^{MR}) t ha ⁻¹	Micorrizas (Sehumic- Vam ^{MR}) g pulg ⁻¹ d t
Linear (L)	0.0013 ²	0.0016 ²	0.0018	0.0016	0.0015
Cuadrática (C)	0.0074	L ³ ,C	L, C	L, C	
Productos	0.0012	Compo ⁴ ,	HuLom,	Mico	
Modelo	0.0016	HuLom, Mico	Mico		
R ²	0.9998	R ²	C.V. 0.77	μ 0.61	
% MO	Error E.				
0.79	0.007	165.0	3.8	2.3	11.3
0.80	0.007	163.9	4.1	2.2	11.8
0.82	0.007	165.0	4.3	2.1	12.4
0.83	0.007	166.8	4.6	2.1	13.1
0.86	0.008	168.8	4.9	2.0	13.8
0.88	0.008	170.9	5.2	2.0	14.5
0.91	0.009	173.1	5.5	1.9	15.3
0.94	0.009	175.4	5.7	1.9	16.0
0.98	0.010	177.6	6.0	1.8	16.7
1.02	0.010	179.9	6.3	1.8	17.4
1.06	0.011	182.2	6.6	1.7	18.2
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial					
+34.0		+10.0	+74.0	-26.0	+61.0

¹Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable de acuerdo a estudios de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación. ²probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. ³Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ⁴Productos significativos de ese nutriente con el resto.

Cuadro 7. Superficie de respuesta máxima¹ para contenido de nitratos (NO₃) de suelo.
Promedio 2010 – 2012.

Regresión		Nitrógeno, enmiendas orgánicas y microorganismos			
		Nitrógeno kg ha ⁻¹	Composta t ha ⁻¹	Humus Lombriz (OptiHumus ^{MR}) t ha ⁻¹	Micorrizas (Sehumic- Vam ^{MR}) g pulg ⁻¹ d t
Linear (L)	0.0983 ²	0.0579 ²	0.0882	0.1824	0.2301
Cuadrática (C)	0.1819	L ³			
Productos	0.1033	Compo ⁴ ,	HuLom		
Modelo	0.1148	HuLom, Mico			
R ²	0.9814	R ²	C.V. 11.08	μ 103.1	
NO ₃ ppm	Error E.				
84.8	16.84	165.0	3.8	2.3	11.3
90.2	16.99	179.7	3.7	2.2	10.9
96.0	16.85	195.7	3.7	2.2	10.6
102.7	16.37	211.7	3.7	2.2	10.2
110.4	15.57	227.5	3.8	2.2	9.8
119.2	14.49	242.9	4.0	2.3	9.5
129.2	13.20	258.2	4.1	2.3	9.2
140.4	11.82	273.3	4.2	2.3	8.9
152.7	10.54	288.2	4.3	2.3	8.6
166.2	9.73	303.1	4.5	2.3	8.3
181.0	9.84	317.9	4.6	2.4	8.0
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial					
+113.0		+93.0	+21.0	+4.0	-29.0

¹Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable de acuerdo a estudios de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R² Coeficiente de determinación.
²probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01.
³Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); ⁴Productos significativos de ese nutriente con el resto.

En el primer caso, para alcanzar 1.06 % de MO se requieren 182 kg ha⁻¹ de N, 7 t ha⁻¹ de composta, 1.7 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 18 kg de micorrizas. Es importante mencionar que el contenido promedio de MO durante el período fue de 0.61%.

A pesar de que un nivel de 80 a 100 ppm de nitratos pueden ser deseables al inicio del ciclo vegetativo, para mantener el nivel adecuado durante toda la estación de desarrollo, se requerirá una reserva suficiente para soportar la demanda de microorganismos para la mineralización de materia orgánica, cubrir las necesidades propias de la planta y obtener una alta productividad y calidad. Para cumplir con lo anterior se requieren 318 kg de nitrógeno con 5 t ha⁻¹ de composta, 2.5 t ha⁻¹ de humus de lombriz y 8 kg de micorrizas.

Conclusiones

Se logró obtener una producción de 2.9 t ha⁻¹ aplicando solamente 27 kg de N ha⁻¹; sin embargo, ese nivel no permitió lograr una buena calidad de la nuez y alcanzar un contenido adecuado de materia orgánica y nitratos en suelo.

El nitrógeno por sí solo no pudo incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la calidad de la nuez, por lo que fue necesario adicionar enmiendas orgánicas y micorrizas.

Para obtener un rendimiento de 2.9 t ha⁻¹ con una calidad de 153 nueces kg⁻¹ y 59.4% de porcentaje de nuez comestible, 1.06% de materia orgánica y 181 ppm de nitratos en suelo se requirieron 305 kg de N, 6600 kg de composta, 3500 kg de humus de lombriz y 18 g de micorrizas por pulg⁻¹ de tronco; esta última fue consistente para incrementar porcentaje de nuez comestible y contenido de materia orgánica.

Finalmente, vale la pena resaltar que este tipo de enmiendas orgánicas tendrían un costo adicional con respecto a la aplicación de nitrógeno de \$ 5,820.00 pesos por hectárea, lo que representa un incremento de 80%.

Referencias

Álvarez, A. (1988). Agenda agroclimatológica por municipio. Servicio meteorológico y geográfico. Estado de Chihuahua. Chihuahua, México. 110 p.

Bethlenfalvay, G. J., Barea J. M. (1994). Mycorrhizae in sustainable agriculture. I. Effects on seed yield and soil aggregation. *Amer. J. Alternative Agric.* 4:157-161.

Brady, N. C., Weil R. (2008). *The Nature and Properties of Soil*. Edit Pearson – Prentice Hall. Ohio, E.U.A. 1996 p.

Brison, F. R. (1992). *Cultivo del nogal pecanero*. Garza Flores, F. (traductor). Comisión Nacional de Fruticultura, México D.F. 349 p.

Cadahia, C. (2005). *Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 475 p.

Carling, D. E., Brown M. F. (1982). Anatomy and physiology of vesicular-arbuscular and nonmycorrhizal roots. *Phytopatology*. 72:1108-1114.

Caron, M. (1989). Potential use of mycorrhizae in control of soilborne diseases. *Can. J. Plant Pathol*. 11(2): 177-179.

Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México. 230 p.

Ferrol, N., Calvente, R., Cano, C., Barea, J. M., Azcón-Aguilar, C. (2004). Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology* 25(2): 123-133.

Godoy A., C., J. Z. Xopiyactle, J. I. Reyes, Tores E. C. A. (2005). Comportamiento hídrico de hojas y frutos de nogal pecanero y su relación con la calidad y germinación de frutos. *Terra Latinoamericana* 23(4): 505-513.

González-Chávez, D.L. Ojeda-Barrios, O.A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios. (2009). Ectomicorrizas en nogal pecanero. *Tecnociencia* 3: 138-140.

Hao, Z., P. Christie, L. Qin, C. Wang, Li X. (2005). Control of *Fusarium* wilt of cucumber seedlings by inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus. *J. Plant Nutr.* 28:1961-1974.

Hernández-Flores, L., J.A. Munive-Hernández, E. Sandoval-Castro, D. Martínez-Carrera, Ma. C. Villegas-Hernández. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Ciencias Agríc.* 4(3):353-355.

Herrera, E., Lindemann W. C. (2001). Nitrogen movement in the soil-pecan tree system. Cooperative Extension Service College of Agriculture and Home Economics. Guide H-651. E.U.A. 112 p.

INEGI. (2015). Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. <http://www.inegi.org.mx/> Fecha de consulta: Enero 28 de 2016.

Linderman, R. G. (1988). Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78(3): 366-371.

Nahiyán, A. S. M., Matsubara, Y. I. (2012). Tolerance to Fusarium root rot and changes in antioxidative ability in mycorrhizal asparagus plants. *HortScience* 47(3): 356-360.

Muñoz-Márquez., E., B. C. Macías, E. Sánchez, J. A. Jiménez, J. González, Ávila G. (2009). Micorrización natural identificación en huertas nogaleras. Ed. Plácido Cuadros. Granada, España. 61 p.

Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO-FRUTO FRESCO-NUEZ PECANERA *Carya illinoensis*, (Wangenh) K. Koch-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-FF-084-SCFI-1996). 24 p.

Rabie, G. H., Al-Humiany A. (2004). Role of VA mycorrhiza on the growth of cowpea plant and their associative effect with N₂- fixing and P-solubilizing bacteria as biofertilizer in calcareous soil. *J. Food Agri. Environ.* 3-4:186-192.

Sánchez E, J. M. Soto, M. Sosa-Cerecedo, R. M. Yáñez, E. Muñoz, Anchondo A. (2009). Eficiencia de uso del nitrógeno en nogal pecanero. *Terra Latinoamericana* 27: 311-317.

SAS. (1989). SAS/STAT User's guide. Version 6; SAS Institute. Cary, NC, USA: 1028-1056.
Schenck, N. C. 1982. Methods and Principles of Mycorrhizal Research. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minesota, U.S.A. 244 p.

SIAP-SAGARPA. (2014). Cierre de la producción agrícola por cultivo 2013. SAGARPA. Fecha de consulta: 10 de Septiembre de 2015.

Sió, J., Boixadera J. (1995). Suelos y fertilización en producción integrada de manzano. Fruticultura Profesional, Especial Producción Integrada. 70:87-99.

Soto P., J.M., M. Basurto S. M., R. Pérez L., A. K. Alanís F., Torres A.C. (2014). Rentabilidad de la fertilización nitrogenada en nogal pecanero. Revista Mexicana de Agronegocios Sexta Época. XVIII(34):78-89

Sparks, D. (2005). Adaptability of pecan as a species. HortScience 40(5): 1175-1189.

Tarango, S. H., B. C. Macías, A. Alarcón, Pérez J. (2004). Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrimentos en nogal pecanero y pistachero. Agric. Téc. Méx. 30:191-203.

Tarango R.S.H. 2007. Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Folleto Técnico No. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 39 p.

Treseder, K. K. (2004). A meta-analysis of micorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies. New Phytologist. 164:347-355.

Whalen, J. K., Chang C. (2002). Macroaggregate characteristics in cultivated soil after 25 annual manure applications. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1637-1647.

Zaragoza-Lira, M.M., P. Preciado-Rangel, U. Figueroa-Viramontes, J. L. García-Hernández, M. Fortis-Hernández, M.A. Segura-Castruita, A. Lagarda-Murrieta, Madero-Tamargo E. (2011). Aplicación de composta en la producción de nogal pecanero. Rev. Chapingo. Serie Horticultura 17:33-34.