

CONTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES, ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MICORRIZAS, SOBRE LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*)

Contribution of nutrients, organic amendments and mycorrhizae on the yield components in pecan walnut (*Carya illinoensis*)

María A. Flores-Cordova¹✉, Juan M. Soto Parra¹, Francisco Javier Piña¹, Ramona Pérez Leal¹ y Esteban Sánchez Chavez²

ABSTRACT. The average national yield of pecan walnut is 1,5 t ha⁻¹ which can be increased with proper management of nutrition and decrease the rate of alternation. A Taguchi L25 structure was used with six factors and five levels for each factor in kg ha⁻¹: N 0; 16; 80; 160 and 320; P₂O₅ 0; 7; 35; 70 and 140; K₂O 0; 7,5; 37,5; 75 and 150; Composting 0; 250; 1250; 2500 and 5000; vermicompost 0; 100; 500; 1000 and 2000; mycorrhizae 0; 3,81; 19,05; 38,00 and 76,20 g per cm of trunk diameter. Commercial carriers: Ammonium sulfate (20,5 % N, 24 % S), phosphoric acid (49 % P₂O₅, density 1,61 kg L⁻¹), potassium thiosulfate (12,6 % K₂O, density 1,46 kg L⁻¹); compost vermicompost and mycorrhizae, evaluating the production and quality of the nut. For a production of 1,94 t ha⁻¹, 149 nuts kg⁻¹ and 59 % of edible nut were used kg ha⁻¹ 226 of N, 121 of P₂O₅, 94 of K₂O, 3111 of Compost, 1905 vermicompost and 33,02 g cm dt of mycorrhizae; of those doses, the requirements for production were 30 % of N and organic amendments, 50 % of P and K; mycorrhizae they contributed 95 % in quality of the walnut. Fertilizer costs accounted for 40,8 % of revenues, which were distributed 50 % for current year quality, 25 % for maintenance of potential production and 25 % for next year's production.

Key words: seed quality, fertilization, mycorrhizae, production

RESUMEN. El rendimiento nacional promedio de nuez pecanera es de 1,5 t ha⁻¹ el cual se puede incrementar con un manejo adecuado de la nutrición y disminuir el índice de alternancia. Se utilizó una estructura Taguchi L25 con seis factores y cinco niveles para cada factor en kg ha⁻¹: N 0; 16; 80; 160 y 320; P₂O₅ 0; 7; 35; 70 y 140; K₂O 0; 7,5; 37,5; 75 y 150; composta 0; 250; 1250; 2500 y 5000; humus de lombriz 0; 100; 500; 1000 y 2000; micorrizas 0; 3,81; 19,05; 38,00 y 76,20 g por cm de diámetro de tronco. Portadores comerciales: sulfato de amonio (20,5 % N, 24 % S), ácido fosfórico (49 % P₂O₅, densidad 1,61 kg L⁻¹), tiosulfato de potasio (12,6 % K₂O, densidad 1,46 kg L⁻¹); composta, humus de lombriz y micorrizas, evaluándose la producción y calidad de la nuez. Para una producción de 1,94 t ha⁻¹, con 149 nueces kg⁻¹ y 59 % de nuez comestible se utilizaron en kg ha⁻¹ 226 de N, 121 de P₂O₅, 94 de K₂O, 3111 de Composta, 1905 de Humus de Lombriz y 33,02 g cm dt de micorrizas. De esas dosis, las necesidades para producción fueron 30 % de N y enmiendas orgánicas, 50 % de P y K; las micorrizas aportaron un 95 % en calidad de la nuez. Los costos de fertilización representaron 40,8 % de los ingresos, los cuales se distribuyeron 50 % para calidad del año actual, 25 % para mantenimiento de la producción potencial y 25 % para asegurar la producción del próximo año.

Palabras clave: calidad de la semilla, fertilización, micorrizas, producción

¹Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua Escorza 900. Col. Centro C.P. 31000. Chihuahua, Chihuahua. México

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Avenida Cuarta Sur No. 3820 Fraccionamiento Vencedores del Desierto. Cd. Delicias, Chihuahua C.P. 33089, México

✉ mariflor_556@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) es una especie frutícola de alta rentabilidad, incrementándose anualmente la superficie de este cultivo. En el 2015, la superficie establecida de nogal pecanero en México fue de 113 mil ha,

con una producción de 123 mil toneladas, y una derrama económica de 8 mil 620 millones de pesos. Así mismo, el estado de Chihuahua cuenta con una superficie del 70,5 % del total nacional, produciendo cerca de 80 mil toneladas, con una derrama de 6 mil 76 millones de pesos (1). Por lo que, la alta rentabilidad del cultivo del nogal requiere de un incremento creciente en la superficie plantada, con una mayor reinversión en las unidades de producción que mejoren el proceso productivo e incentiven la expansión del cultivo en el mercado internacional, así como competir con los países emergentes, ya que el 70 % de la producción nacional se exporta principalmente a Estados Unidos, y en los últimos cinco años a China (2). Sin embargo, existen diversas limitantes para su producción, como las deficiencias y desbalances nutricionales derivadas de las características edáficas, las cuales afectan el rendimiento ya que son un reflejo de las condiciones del suelo, manejo y sanidad del nogal (3). Ante esta situación, es imprescindible contar con un programa nutricional que incremente la producción por hectárea, mejore la calidad de la nuez y disminuya el índice de alternancia (4). Una alternativa, es el uso de composta, humus de lombriz y micorrizas, lo que adquiere especial relevancia ante el rendimiento promedio nacional, el cual es de 1,5 t ha⁻¹ (5-7).

El uso de micorrizas aumenta la superficie del sistema radical del nogal, lo cual es relevante para la absorción de agua y nutrientes (8). Aun cuando en la mayoría de los suelos el contenido de materia orgánica es bajo, sus efectos en la función del suelo son importantes (9), toda vez que ejerce una influencia dominante en diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (10). Ciertos componentes de la materia orgánica son responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo (11), actuando como almacén de lenta liberación, especialmente para N (10,12). Cuando el material orgánico adicionado al suelo excede una relación C:N de 25:1, los microorganismos deteriorarán el suelo para obtener suficiente N, y apoyar el desarrollo microbiano (9). Por lo tanto, para obtener el máximo valor económico y minimizar el potencial de contaminación por NO₃-N, las prácticas de manejo de N deben ser ajustadas según el proceso de mineralización esperada de las enmiendas (10,12). La estimación real de la disponibilidad de N en estiércoles es altamente variable (13), en bovino es de 51 % de MO; 1,42 de N; 1,17 de P; 3,41 de K; 3,68 de Ca; 0,7 de Mg; 0,5 de Na y 5,0 % de sales solubles (10).

Por otra parte, el hongo micorrízico provee una mayor superficie radical para la absorción de agua, nutrimentos y transporte de compuestos carbonatados de la planta al suelo, incluso suprimen los daños causados por ataques de patógenos y activación de los mecanismos de defensa (14), asociados con

un incremento de la capacidad antioxidante (15,16). Aunque el P abunda en el suelo, con frecuencia la forma asimilable no es suficiente para satisfacer las necesidades de las plantas, por lo que se han desarrollado estrategias para aprovecharlo mediante la producción de exudados de raíz y estableciendo simbiosis con micorrizas (17,18). Una deficiencia de P provoca retraso en la iniciación floral, disminuye el número de flores y la formación de semillas por la degradación de fosfato (19).

El objetivo del trabajo fue evaluar la contribución de N, P, K, composta, humus de lombriz y micorrizas sobre los componentes de rendimiento de nogal pecanero y su distribución de costos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio de Aldama, Chihuahua, durante los ciclos vegetativos 2013-2014 desde la brotación hasta la defoliación (marzo-noviembre de cada año) en árboles 'Western Schley' plantados en 1982 en cuadrado a 12 x 12 m. El clima determinado por Thornthwaite de la localidad, es semiárido extremoso, con una temperatura media anual de 18,53 °C, y una precipitación pluvial media de 330,6 mm (20).

Los riegos se aplicaron mediante inundación a principios de temporada (de marzo a principios de mayo) y aspersión en el resto del ciclo vegetativo. El suelo se caracterizó con contenido de arena de 18,1 %, de limo 40,6 y de arcilla 41,3 %, el pH en CaCl₂ 0,01 M fue de 7,86, la materia orgánica (MO) 0,88 %, el contenido de carbonatos 6,24 % y la conductividad eléctrica 1,00 dS m⁻¹. Por su parte, los principales nutrientes se estimaron en N-NO₃ = 285,0 kg ha⁻¹, P = 21,5 mg kg⁻¹, K = 1075,0 kg ha⁻¹, Ca = 3800 kg ha⁻¹, Mg = 300 kg ha⁻¹, Cu = 0,46 kg ha⁻¹, Fe = 1,80 kg ha⁻¹, Mn = 6,92 kg ha⁻¹ y Zn = 1,46 kg ha⁻¹.

Se utilizó una estructura Taguchi L25, mediante el programa minitab, para la generación de tratamientos, con seis factores y cinco niveles para cada factor con los que se generaron 25 tratamientos (Tabla I). Cada tratamiento consistió de tres repeticiones, y a su vez cada repetición, consistió de dos árboles, con un total de 150 árboles. El N se distribuyó en cuatro aplicaciones con los siguientes porcentajes: 1.- floración femenina 25 % (tercera semana de abril); 2.- crecimiento de fruto 25 % (segunda semana de junio); 3.- estado Acuoso 50 %; (mediados de julio); 4.- estado lechoso 12,5 % (mediados de agosto); para lo cual la fuente de N fue sulfato de amonio (20,5 % N y 24 % S). Los porcentajes de aplicación de P para tales fechas fueron iguales a las de N y se utilizó como fuente el ácido fosfórico (49 % P₂O₅, densidad 1,61 kg L⁻¹).

Tabla I. Factores y niveles de aplicación de nutrientes, enmiendas y micorrizas en nogal

Concentración	kg ha ⁻¹					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Composta	Humus Lombriz	g cm dt ^x Micorrizas
0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
X	16,0	7,0	7,5	250,0	100,0	3,81
5 X	80,0	35,0	37,5	1250,0	500,0	19,05
10 X	160,0	70,0	75,0	2500,0	1000,0	38,00
20 X	320,0	140,0	150,0	5000,0	2000,0	76,20
Media ^y	160,0	70,0	75,0	2500,0	1000,0	38,10

*Control sin aplicación, ^xgramos por centímetro de diámetro de tronco (g cm dt), estandarizado a 40,54 cm que equivalió a 0, 1656, 8280, 16560 y 33120 g ha⁻¹, respectivamente. ^yPromedio del valor máximo y mínimo para cada factor, ya que a partir de este valor se calcula la respuesta mínima o máxima según la variable de respuesta

El K se aplicó a los siguientes porcentajes para las fechas mencionadas (1) 25 %, (2) 12,5 %, (3) 50 %, (4) 12,5 %; la fuente de potasio fue tiosulfato de potasio (12,6 % K₂O, densidad 1,46 kg L⁻¹). Por su parte, la composta (Nt 1,75; P 0,59; K 2,75; Ca 1,13; Mg 0,82; Na 0,0014; NO₃ 84,4; Cu 40,5; Fe 1036; Zn 107; Humedad 28,7 y pH 1:2 H₂O 8,74) y el humus de lombriz (Nt 1,15; P 0,4; K 1,08; Ca 1,62; Mg 0,96; Cu 41,5; Fe 778; Zn 14; pH CaCl₂ 8,14; MO 46; C.E. 70 ds m⁻¹ CIC meq 100 g humus 190-300, Flora micr 15-20 b UFC g⁻¹ C:N 09:13) se dividieron en dos aplicaciones, la primera a principios de abril 50 % (flor masculina en expansión y primordios de brotes con flor pistilada) y la segunda a principios de junio 50 % (posterior a la caída de nueces que no amarraron e inicio de agrandamiento de fruto).

De las micorrizas (*Acaluospora scobiculata*, *Giaspora margarita*, *Glomus fasciculatum*, *G. constrictum*, *G. Tortuosum*, *G. geosporum* con 20,000 esporas viables kg⁻¹) se aplicó la cantidad total a mediados de mayo. Los fertilizantes y las enmiendas orgánicas se aplicaron a una distancia de cobertura de 2 a 4 m alrededor del tronco; para una mejor distribución bajo la copa del árbol. Las micorrizas se dividieron en cuatro dosis de aplicación por cada árbol en cuatro hoyos de 10 a 15 cm de profundidad, espaciados del tronco del árbol dos metros y orientados hacia cada uno de los puntos cardinales. Los fertilizantes y enmiendas se aplicaron previo al riego.

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Producción. Se vibraron los árboles de forma mecánica, se recolectó la nuez y se estimó el peso en kg por cada árbol. Se extrapoló la producción en toneladas por hectárea al multiplicar la producción por árbol por el número de árboles por ha, corregido por un factor de 0,95 debido a la heterogeneidad en la producción individual de los árboles.

Número de nueces por kilogramo. Se contaron el número de nueces de una muestra de 300 g y se extrapoló el valor a la unidad de peso (kg).

Porcentaje de nuez comestible. Para la determinación del contenido de almendra comestible se seleccionaron 300g, se les separa la cáscara de la parte comestible, se pesaron por separados y se determinó el porcentaje del contenido de almendra comestible, cuyo valor permitió determinar la fracción de producto comestible con respecto al total.

DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

Se determinó un análisis económico, de los costos inherentes al programa de fertilización y su impacto sobre cada uno de los componentes de rendimiento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Dada la naturaleza factorial de la estructura Taguchi empleada, se realizó un análisis promedio de dos años mediante superficie de respuesta cuadrática completa, ajustando la superficie para determinar los niveles de los factores para respuesta óptima (21,22).

Dicha técnica se emplea cuando cada factor es estudiado para tres o más niveles; se estima una superficie de respuesta cuadrática por regresión con el método de mínimos cuadrados. Se presenta un resumen del intervalo óptimo sugerido para la mejor dosis de amplio espectro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II, se observa la producción, la cual fluctuó desde 0,84 hasta 1,94 t ha⁻¹ durante los ciclo 2013 y 2014. Lo cual representó un incremento del 131 %, que se asoció a una relación incrementos-decrementos para cada uno de los factores a partir del valor promedio de los niveles estudiados; para N -60 %, P +34 %, K -17 %, composta sin cambio, humus de lombriz 25 % y micorrizas -15 %. Bajo este análisis, los factores críticos para rendimiento son aquellos que se requieren en mayores cantidades; en este caso, P: 121 kg P₂O₅ ha⁻¹ y humus de lombriz; 1245,8 kg ha⁻¹. En un trabajo realizado en nogal bajo manejo con N (Sulfato de amonio), se obtuvieron valores de 1,34 t ha⁻¹ más bajo al obtenido en esta investigación (23).

Tabla II. Superficie de respuesta máxima¹ para producción de nuez, 2013 - 2014

Regresión		N	Nutrientes, enmiendas orgánicas y microorganismos kg ha ⁻¹				Micorrizas
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Composta	Humus Lombriz	
		0,0002 ²	0,0743	0,0005	0,0039	0,0110	0,1416
Linear (L)	0,0007 ²	C ³	L,C				
Cuad,(C)	0,0053	Composta					
Producto	0,0016						
Modelo	<,0001						
R ² 0,6163		C.V. 16,25	μ 1,34				
t ha ⁻¹	Error Est,	kg ha ⁻¹					
0,84	0,41	160,0	70,0	75,0	2500,0	1000,0	38,1
0,94	0,39	157,0	72,5	70,3	2368,2	979,1	36,8
1,02	0,37	152,7	75,9	66,1	2251,2	969,6	35,0
1,09	0,36	144,5	81,3	63,3	2182,9	983,9	33,5
1,17	0,35	132,7	88,0	62,1	2184,1	1020,0	32,7
1,26	0,34	120,5	94,3	61,8	2214,7	1060,0	32,5
1,37	0,32	108,9	100,1	61,7	2253,1	1099,0	32,5
1,49	0,32	97,7	105,6	61,7	2293,9	1136,7	32,5
1,63	0,32	86,8	111,0	61,8	2335,7	1173,7	32,5
1,78	0,33	76,0	116,2	61,9	2377,9	1210,0	32,5
1,94	0,36	65,4	121,3	62,1	2420,3	1245,8	32,5
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial							
+131,0		-60,0	+34,0	-17,0	-3,0	+25,0	-15,0

¹Análisis de cordillera (Ridge); 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 ≤ 0,013 Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L); cuadrática (C);

³Productos significativos de ese nutriente con el resto

En otro estudio realizado en nogal, donde se estudió el desbalance nutricional y respuesta en rendimiento no se encontraron diferencias en la producción bajo tratamientos de fertilización (24). De la misma manera, otros autores señalaron que el nogal absorbe la misma cantidad de P independientemente de la contenida en el suelo o de la proporcionada por una aplicación (25).

La cantidad de N requerida para una producción de 1,94 t ha⁻¹ fue de 65,4 kg ha⁻¹, lo que confirma que es posible disminuir la cantidad de N con el uso de enmiendas orgánicas, además, la producción puede asegurarse desde el año anterior, momento en el cual el árbol requiere de mayor cantidad de N, la cual es aportada de manera concomitante para mejorar la calidad de la nuez.

Lo anterior confirma que al analizar el número de nueces por kg (Tabla III), los requerimientos de N se incrementaron desde 160 hasta 226,4 kg ha⁻¹ para obtener un intervalo de 179 a 149 nueces por kg; cabe mencionar que fue el único nutriente que se incrementó para aumentar la calidad, expresada con menor número de nueces por kg⁻¹. Dicho valor fue el mayor de los tres componentes del rendimiento (producción, número de nueces kg⁻¹ y porcentaje de nuez comestible) por lo que se constituye en el valor crítico. Por lo cual, si lo que se busca es mejorar la calidad según los requerimientos del mercado (menos nueces kg⁻¹ que las aquí registradas) se tendría que aumentar solamente la cantidad de N.

Aspectos también importantes son la contribución significativa de P, el cual se incrementó para promover una mayor producción de 70 a 121 kg P₂O₅ ha⁻¹, caso similar para el humus de lombriz de 1000 a 1246 kg ha⁻¹, en ambos para tener un aumento en producción de 0,8 a 1,9 toneladas por hectárea respectivamente.

En la Tabla IV se muestra el porcentaje de nuez comestible con una μ de 58,4 %, al igual que para producción y número de nueces por kg⁻¹. Los factores estudiados tuvieron respuesta estadística, los elementos críticos fueron K, composta y humus de lombriz. Éste último fue el de mayor impacto, en virtud de que para lograr un incremento del 8 % en el porcentaje de nuez comestible se requirió un aumento de 1000 a 1905 kg⁻¹ de humus de lombriz, mientras que los respectivos porcentajes para K y composta fueron del 25 %. La respuesta en su conjunto indica que los nutrientes y enmiendas concurren de manera complementaria en los componentes de rendimiento del nogal. En relación a la producción los factores críticos fueron P y humus de lombriz, para nueces kg⁻¹ el factor crítico fue N, mientras que para porcentaje de nuez comestible los factores críticos fueron K, composta y humus de lombriz. La respuesta más intensa correspondió a producción con un incremento del 131 %, donde N y P mostraron efectos contrarios presentando un incremento positivo en la producción con una disminución de N y aumento de P.

Tabla III. Superficie de respuesta mínima¹ para nueces por kilogramo, 2013 - 2014

Regresión	N	Nutrientes, enmiendas orgánicas y microorganismos kg ha ⁻¹					
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Composta	Humus Lombriz	Micorrizas	
	<,0001 ²	0,6903	0,0230	0,0533	0,0732	0,0379	
Linear (L)	<,0001 ²	L ³					
Cuad. (C)	0,3038	P ₂ O ₅					
Productos	0,1605	Composta					
Modelo	<,0001						
R ² 0,7466		C.V. 3,71		μ 171			
Nueces kg ⁻¹	Error Est,	kg ha ⁻¹					
179	11,93	160,0	70,0	75,0	2500,0	1000,0	38,1
177	11,20	161,1	67,6	71,5	2410,7	964,9	35,5
175	10,58	164,2	64,7	68,2	2316,2	930,2	33,5
172	10,03	1692	61,2	65,0	2215,7	896,0	31,4
170	9,56	175,8	57,0	62,2	2110,2	862,6	30,2
167	9,14	183,4	52,2	59,6	2002,7	830,7	29,2
164	8,82	191,7	47,1	57,3	1895,7	800,5	28,7
161	8,68	200,3	41,7	55,3	1790,8	771,9	28,7
158	8,84	209,0	36,3	53,4	1688,5	744,8	28,7
154	9,37	217,7	30,9	51,7	1588,7	718,8	28,9
149	10,34	226,4	25,4	50,0	1491,1	693,8	29,2
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial							
	-17,0	-64,0	-33,0	-40,0	-31,0	-23,0	

¹Análisis de cordillera (Ridge); 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 ≤ 0,01,3; Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C)

³Productos significativos de ese nutriente con el resto

Tabla IV. Superficie de respuesta máxima¹ en % de nuez comestible, 2013, 2014

Regresión	N	Nutrientes, enmiendas orgánicas y microorganismos kg ha ⁻¹					
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Composta	Humus Lombriz	Micorrizas	
	<,0001 ²	0,0078	0,0174	0,0002	0,0047	0,0048	
Linear (L)	<,0001 ²	C ³		L, C	L, C	L, C	
Cuad. (C)	0,0092				P ₂ O ₅	P ₂ O ₅	
Productos	0,0029				K ₂ O		
Modelo	<,0001						
R ² 0,7515		C.V. 1,31		μ 58,4			
% Nuez comestible	Error Est,	kg ha ⁻¹					
54,8	0,97	160,0	70,0	75,0	2500,0	1000,0	38,1
55,1	0,96	161,0	65,9	75,0	2501,6	1063,5	36,3
55,4	1,00	162,7	62,9	76,2	2523,5	1145,7	34,8
55,7	1,09	164,3	61,1	78,3	2566,2	1239,3	33,8
56,0	1,21	165,1	60,1	80,6	2623,9	1336,4	33,0
56,4	1,38	164,9	59,6	83,1	2691,9	1433,9	32,5
56,8	1,57	163,6	59,5	85,5	2767,3	1530,6	32,3
57,2	1,79	161,1	59,7	87,8	2848,1	1626,3	31,8
57,7	2,12	157,5	60,1	89,9	2933,1	1720,6	31,5
58,3	2,26	152,8	60,7	92,1	3021,2	1813,4	31,0
58,9	2,51	147,3	61,5	93,8	3111,4	1904,6	30,7
% Incremento (+) decremento (-) del valor promedio inicial							
	+7,5	-12,1	+25,0	+24,0	+90,0	-19,0	

¹Análisis de cordillera (Ridge); 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 ≤ 0,013; Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L); cuadrática (C)

³Productos significativos de ese nutriente con el resto

En producción se requirió un aumento del valor promedio inicial de 34 % de P y un decremento para el valor promedio inicial de N de 60%; sin embargo, para el número de nueces kg⁻¹ el requerimiento de N se incrementó en 60 % y de P disminuyó un 40 %.

Caso especial fue para porcentaje de nuez comestible, con un incremento de 90 % con la aplicación de humus de lombriz, siendo positivo debido a que el precio de la nuez se fija en base al porcentaje de nuez comestible.

En un estudio realizado en nogal pecanero, se consideró la calidad de la nuez principalmente por el porcentaje de la parte comestible, el tamaño color y daños de almendra, presentando rangos superiores al mínimo aceptable, del 50 % con la aplicación de composta y en este estudio se obtuvieron valores del 90 %, datos que corroboran que la aplicación de compostas benefician el incremento de la calidad de la nuez (26).

DOSIS ASOCIADA A LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

En la Tabla V se muestra el resumen de la contribución de cada uno de los factores sobre producción y calidad; con respecto a producción ésta fue positiva en fósforo y micorrizas. De los 121,3 kg ha⁻¹ de P para la máxima producción, 25,4 kg ha⁻¹ con 20,9 %, fueron para el menor número de nueces por kilogramos. La contribución diferencial para porcentaje de nuez comestible una vez restada los 25,4 kg ha⁻¹ fueron de 36,1 kg ha⁻¹ (29,8 %). En la dosis obtenida para P en términos de producción, solo el 50 % fueron para la misma, y el 50 % restante fueron para la calidad. Bajo el mismo procedimiento de discusión, en caso de las micorrizas un porcentaje muy alto del 95 % fue para calidad de la nuez.

Las nueces por kilogramo solo fue afectada por N con un requerimiento para el menor número de nueces (mayor calidad) de 226,0 kg ha⁻¹, con un 71 % para calidad de la nuez.

Tabla V. Contribución de los factores para producción y calidad^x en nogal pecanero

			Producción					
Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%	Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%			
Fósforo	121,3 (a)	100,0(b)	Micorrizas	12,8	100,0			
Nueces kg ⁻¹	25,4 (c)	20,9 (d)	Nueces kg ⁻¹	11,5	89,8			
Nuez comestible	61,5 (e)		Nuez comestible	12,1				
Diferencial	36,1 (e-c)	29,8 (f)	Diferencial	0,6	4,7			
Suma		50,7 (d+f)	Suma		94,5			
Residual	59,8 (a-e)	49,3	Residual	0,7	5,5			
Contribución	Producción	49,3 (g)	Contribución	Producción	5,5			
	Calidad	50,7 (b-g)		Calidad	94,5			
Nueces por kilogramo								
Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%						
Nitrógeno	226,0	100,0						
Producción	65,4	28,9						
Nuez comestible	147,7							
Diferencial	82,3	36,4						
Suma		65,3						
Residual	78,3	34,7						
Contribución	Producción	28,9						
	Calidad	71,1						
Porcentaje nuez comestible								
Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%	Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%	Factor	Dosis kg ha ⁻¹	%
Humus	1905	100,0	Potasio	93,8	100,0	Composta	3111	100,0
Lombriz			Nueces kg ⁻¹	50	53,3	Nueces kg ⁻¹	1491	47,9
Nueces kg ⁻¹	694	36,4	Producción	62		Producción	2420	
Producción	1246		Diferencial	12	12,8	Diferencial	929	29,9
Diferencial	552	29,0	Suma		66,1	Suma		77,7
Suma		65,4	Residual	31,8	33,9	Residual	691	22,2
Residual	659	34,6	Contribución	Producción	12,8	Contribución	Producción	29,9
Contribución	Calidad	71,0		Calidad	87,2		Calidad	70,1

^xCalidad representada por número de nueces kg⁻¹ y porcentaje de nuez comestible: las letras entre paréntesis señalan la contribución de cada variable a la dosis obtenida de fertilización (a) y su correspondiente porcentaje (b). Sumas y restas para determinar el valor obtenido de cada variable de respuesta en relación a la dosis total

La calidad de la nuez en porcentaje comestible fue favorecida con la aplicación de enmiendas orgánicas: (humos de lombriz 1905 kg ha⁻¹ y composta 3111 kg ha⁻¹) y P con 93,8 kg ha⁻¹. Las enmiendas contribuyeron con 70 % y P con 87 %, de las dosis especificadas.

De la dosis obtenida en kilogramos ha⁻¹, 121,3 de N, 226,0 de P₂O₅, 93,8 de K₂O, 1905 de humus de lombriz, 3111 de Composta y 12,8 de micorrizas, la contribución mayor en producción fue de P con 49 %, mientras que N y enmiendas orgánicas participaron con un 29 % y K con 13 % de las cantidades indicadas.

En calidad, la mayor contribución fue de micorrizas con un 95 %, N y enmiendas orgánicas contribuyeron con un 71 % de las dosis respectivas, es decir, al trabajar la calidad del presente año, se prevé la producción del siguiente año, cualidad inherente a la explotación frutícola.

Algunos autores mencionan que la incorporación de compostas provee la cantidad suficiente de nutrientes durante las fases críticas del desarrollo del nogal, obteniendo así resultados favorables en nogal, al igual que en este estudio (3,27,28).

DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

Por otra parte, se determinó mediante un análisis de las necesidades económicas, los costos estimados, los cuales se observan en la Tabla VI. Si se considera que la producción máxima estimada fue de 1,94 t ha⁻¹ con un precio de venta de \$ 50 000,00, los ingresos ascienden a \$ 97 000,00, por lo tanto, los costos de fertilización al suelo representaron un 40,8 % de los ingresos por venta. Sin embargo, de manera objetiva, de dichos costos de fertilización 50 % son para la calidad del año actual, 25 % de mantenimiento de la producción potencial actual y el restante 25 % para asegurar producción del año próximo. En consecuencia, la cosecha actual representó 30,6 % de los ingresos (\$ 29 664,80), y el 25 % restante de los costos de fertilización (\$ 9 888,30) se aplican para asegurar la producción potencial del año próximo, lo que en términos de costos de oportunidad representan alrededor de dos veces su porcentaje en términos de producción, ello implica que con el 25 % de los costos de producción actual se podría asegurar el 50 % de la producción del año próximo, a un valor mínimo de 1,94 t ha⁻¹.

Tomando en cuenta lo anterior, se sugiere considerar el efecto residual de las aplicaciones de las enmiendas orgánicas y el uso de micorrizas para promover una mayor disponibilidad de N, P, K, mayor contenido de materia orgánica y de microelementos, lo cual conlleva a una eventual disminución de costos, un aumento en la producción o una combinación de ambas respuestas, lo que fortalecería la competitividad del cultivo y generaría un mayor margen de maniobra de adaptación ante situaciones adversas.

Tabla VI. Costos estimados para aplicación de fertilizantes y enmiendas orgánicas

Material	Unidad	Precio	Costo total por ha
Sulfato de amonio	1 t	3 600,00	4 068,00
Ácido fosfórico	75 kg	2 355,00	8 004,00
Potasio	1 t	16,20	12 050,00
Composta	1 t	700,00	2 178,00
Humus de lombriz	1 t	2 200,00	4 191,00
Micorrizas		300,00	3 900,00
Total			\$39 553,00

CONCLUSIONES

Se obtuvo una producción de 1,94 t ha⁻¹, rendimiento unitario de 149 nueces kg⁻¹ y 59 % de porcentaje de nuez comestible con aportaciones de 226 Kg de N, 121 kg de P₂O₅, 94 kg de K₂O, 3111 kg de composta, 1905 kg de humus lombriz, y 13 kg de micorrizas. Las necesidades para producción fluctuaron de 30 % (N con enmiendas orgánicas) a 50 % (P y K) cuyos respectivos complementos se aplicaron para incrementar la calidad, en ésta última, las micorrizas cubrieron 95 % de los requerimientos. Los costos de fertilización representaron 40,8 % de los ingresos por venta; su distribución para los componentes de rendimiento fueron 50 % para la calidad del año actual, 25 % para el mantenimiento de la producción potencial y el restante 25 % para asegurar producción del año próximo.

BIBLIOGRAFÍA

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Atlas agroalimentario 2016 [Internet]. México D. F: SIAP; 2016. 236 p. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016.
- Retes-López R, Palafox ARN, Medina SM, Ballesteros FGD, Rivera MM. Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de hermosillo. Revista Mexicana de Agronegocios. 2014;18(34):872-882.
- Pérez Pérez, Gildardo. Manejo y producción del nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en México. [Tesis de Grado]. [Saltillo Coahuila, México]: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2013. 64 p.
- Soto PJM, Piña RFJ, Sánchez ChE, Basurto SM, Pérez LR. Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. Nova scientia. 2016;8(16):140-61.
- SIAP-SAGARPA. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2013. SAGARPA; 2014.

6. Hernández-Flores L, Munive-Hernández JA, Sandoval-Castro E, Martínez-Carrera D, Villegas-Hernández MC. Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2013;4(3):353-65.
7. Zaragoza-Lira MM, Preciado-Rangel P, Figueroa-Viramontes U, García-Hernández JL, Fortis-Hernández M, Segura-Castruita MÁ, *et al.* Aplicación de composta en la producción del nogal pecanero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 2011;17(1):33-7.
8. González-Chávez P, Ojeda-Barrios G, Hernández-Rodríguez A, Martínez-Téllez J, Núñez-Barrios A. Ectomicorrizas en nogal pecanero. *Tecnociencia Chihuahua*. 2009;3(3):138-46.
9. Brady NC, Weil R. The nature and properties of soil [Internet]. Edit Pearson – Prentice Hall. E.U.A; 2016 [citado 22 de febrero de 2018]. 1071 p. Disponible en: <https://www.iberlibro.com/9780133254488/Nature-Properties-Soils-RaymondWeil-Late-0133254488/plp>
10. Castellanos JZ, Uvalle-Bueno JX, Aguilar-Santelises A. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola; 2000. 226 p.
11. Xie H, Li J, Zhang B, Wang L, Wang J, He H, *et al.* Long-term manure amendments reduced soil aggregate stability via redistribution of the glomalin-related soil protein in macroaggregates. *Scientific Reports*. 2015;5:1-9. doi:10.1038/srep14687
12. Herrera E, Lindemann WC. Nitrogen movement in the soil-pecan tree system. Cooperative extension service college of agriculture and Home economics. 2001 [citado 22 de febrero de 2018]. Disponible en: http://aces.nmsu.edu/pubs/_h/H651/welcome.html
13. Li L, Li S. Nitrogen mineralization from animal manures and its relation to organic N fractions. *Journal of Integrative Agriculture*. 2014;13(9):2040-8. doi:10.1016/S2095-3119(14)60769-3
14. Sánchez SE. Comparación de géneros micorrizas arbusculares y porcentajes de micorrización en cultivos jóvenes y adultos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K.koch) en Matamoros, Coahuila [Internet] [Tesis licenciatura]. [Torreón, Coah. México]: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2015 [citado 22 de febrero de 2018]. 86 p. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7891>
15. Hao Z, Christie P, Qin L, Wang C, Li X. Control of *Fusarium*. Wilt of cucumber seedlings by inoculation with an arbuscular *Mycorrhizal fungus*. *Journal of Plant Nutrition*. 2005;28(2):1961-74. doi:10.1080/01904160500310997
16. Mohammad NA, Matsubara Y. Tolerance to *Fusarium* root rot and changes in antioxidative ability in mycorrhizal asparagus plants. *HortScience*. 2012;47(3):356-60.
17. Grossman A, Takahashi H. Macronutrient utilization by photosynthetic eukariotes and the fabric of interactions. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 2001;52(1):163-210. doi:10.1146/annurev.arplant.52.1.163
18. Williams ME. Plant Nutrition 2: macronutrients (N, P, K, S, Mg, and Ca): The Plant Cell Online. 2014;26(12):1-18. doi:10.1105/tpc.114.tt1214
19. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. 3ra ed. San Diego, Ca.: Academic Press Inc; 2011.
20. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP [Internet]. 2016 [citado 22 de febrero de 2018]. Disponible en: http://www.inifap.gob.mx/SitePages/inifap2015/Transparencia/Contenido/Trans_Focalizada/Red_Estaciones/Red_Estaciones.aspx
21. Institute SAS. SAS/STAT User's Guide, Version 6. 4 edition. Vol. 2. SAS Institute; 1989. 1457-1478 p.
22. Vargas Hernández M, Zárate de Lara GP, Burguete Hernández JF, Colegio de Postgraduados (México), Centro de Estadística y Cálculo. Factoriales fraccionados y superficie de respuesta: uso de paquetes estadísticos para microcomputadoras. Vol. 10. Chapingo, Edo. de México: Colegio de Postgraduados, Centro de Estadística y Cálculo; 1991. 79-88 p.
23. Martínez-Rodríguez OA, Ávila-Ayala M. Efecto del sulfato de amonio en la concentración foliar de nutrimentos, rendimiento y calidad de la nuez del nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2002;3(1):19-24.
24. Medina MC. Desbalance nutrimental y respuesta en rendimiento en experimentos de fertilización en nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*. 2002;20(4).
25. Aguilar Pérez JH. Manual para el manejo orgánico del nogal pecanero. Bloomington: Palibrio, LLC; 2014.
26. Agegnehu G, Bass AM, Nelson PN, Bird MI. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of The Total Environment*. 2016;543:295-306. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.054
27. Tarango Rivero SH, Nevárez Moorillón VG, Orrantía Borunda E. Growth, yield, and nutrient status of pecans fertilized with biosolids and inoculated with rizosphere fungi. *Bioresource Technology*. 2009;100(6):1992-8. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.078
28. Tarango RSH. Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; 2012. 44 p.

Recibido: 23 de diciembre de 2016

Aceptado: 7 de septiembre de 2017