

EFICIENCIA DE USO DEL NITRÓGENO EN NOGAL PECANERO

Nitrogen Use Efficiency in Pecan

Esteban Sánchez^{1‡}, Juan M. Soto², Manuel Sosa-Cerecedo³, Rosa M. Yáñez², Ezequiel Muñoz¹ y Álvaro Anchondo⁴

RESUMEN

Ante el aumento en el precio de los fertilizantes y el efecto de su uso excesivo sobre la contaminación del ambiente, en la actualidad, se hace más evidente la necesidad de aplicar los nutrientes de manera racional. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN), productividad y calidad de la nuez pecanera. Se probaron tres dosis de nitrógeno (N) (160, 320 y 480 kg ha⁻¹), utilizando como fuente al sulfato de amonio (20.5% de N), distribuidas en siete aplicaciones con base en las etapas fenológicas de mayor demanda: 1) pre-brotación (finales de febrero-principios de marzo, 12.5% de N); 2) inicio de amarre de fruto (mediados-finales de abril, 25% de N); 3) crecimiento del fruto (principios de junio, 12.5% de N); 4) estado acuoso (mediados de julio, 12.5%); 5) estado lechoso (mediados de agosto, 12.5% de N); 6) maduración (mediados a finales de septiembre), 12.5% de N); y 7) recarga en postcosecha (mediados de diciembre, 12.5% de N). En cosecha se evaluó la producción promedio por árbol, el número de nueces por kg, el porcentaje de nuez comestible y la EUN (kg de fruto producido por kg de N aplicado). Los resultados obtenidos indicaron que la máxima EUN se obtuvo con el tratamiento de 160 kg ha⁻¹ que produjo 16.91 kg de nuez por kg de fertilizante aplicado, mientras que los tratamientos de 320 y 480 kg ha⁻¹ produjeron 9.06

y 6.24 kg de nuez por kg de N aplicado respectivamente. El número de nueces por kg fue menor con el tratamiento de 160 kg ha⁻¹ (139 nueces kg⁻¹) en comparación a los tratamientos de 320 y 480 kg ha⁻¹ que presentaron 140 y 142 nueces kg⁻¹ respectivamente. Con respecto al porcentaje de nuez comestible, los tres tratamientos de N presentaron un valor similar de 54%. La dosis óptima de N que mejora la eficiencia de su uso, productividad y calidad de la nuez fue de 160 kg ha⁻¹.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, *eficiencia*, *fertilización*.

SUMMARY

Due to the increasing cost of fertilizers and the negative effect of their excessive use on the environment, a more rational way of nutrient application is needed. The present research evaluated nitrogen use efficiency (NUE), productivity and quality of pecan. Three N doses were evaluated (160, 320, and 480 kg ha⁻¹). Ammonium sulfate (20.5% N) was used as N source. N was split into seven applications during the following phenological phases: 1) pre-sprouting (late February to early March, with 12.5% of total N dose); 2) beginning of fruit set (middle to end of April, 25% of total N); 3) fruit growth (early June, 12.5% total N); 4) aqueous stage (mid July, 12.5% of N); 5) milky stage (mid August, 12.5% of N); 6) fruit ripening (middle to end of September, 12.5% of N); and 7) postharvest N application (mid December, 12.5%). At harvest, average yield per tree, number of nuts kg⁻¹, kernel percentage and NUE (kg of produced fruit kg⁻¹ of applied N) were evaluated. Results indicate that the maximum NUE was obtained with 160 kg ha⁻¹ which yielded 16.91 kg of nuts per kg⁻¹ of N applied, while 320 and 480 kg ha⁻¹ produced only 9.06 and 6.24 kg of nuts kg⁻¹ of N, respectively. The number of nuts kg⁻¹ was smaller with the treatment 160 kg ha⁻¹ (139 nuts kg⁻¹) when compared with 320 and 480 kg ha⁻¹ which yielded 140 and 142 nuts kg⁻¹ respectively. Regarding percentage of kernel, all three N-treatments

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Av. 4ta. Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto. 33089 Cd. Delicias, Chih., México.

[‡] Autor responsable (esteban@ciad.mx)

² Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus Universitario I. 31310 Chih., México.

³ Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 1 Periférico Francisco R. Aldama. 31031 Chih., Chih., México.

⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera Delicias-Rosales. 33000 Cd. Delicias, Chih., México.

showed a value of 54%. The optimum N dose for efficient use of nitrogen, pecan productivity and quality was the treatment with 160 kg ha⁻¹.

Index words: *Carya illinoensis*, *efficiency*, *fertilization*.

INTRODUCCIÓN

El estado de Chihuahua es el principal productor de nuez a nivel nacional con una producción anual de 54 000 Mg, aportando el 80% de la producción del país. La superficie plantada es de 48 000 ha de las cuales 36 000 ha están en producción y 12 000 ha en desarrollo (SAGARPA, 2007).

Actualmente, una de las grandes preocupaciones de los productores de nogal pecanero es la relacionada con la nutrición vegetal. En particular, el nitrógeno (N) es el nutriente más demandado por las plantas y por lo tanto, con frecuencia se convierte en un factor limitante para el desarrollo y crecimiento óptimo de las mismas, por lo que un buen entendimiento de las relaciones entre las respuestas del N sobre el cultivo del nogal pecanero es fundamental en el manejo de este nutriente. Se considera que la fertilización es de gran relevancia puesto que alrededor del 50% de los costos de producción corresponden a los programas de fertilización, es una de las prácticas más costosas en el cultivo (FIRA, 1999). El N es considerado como el principal nutriente aplicado en los programas de fertilización en huertos en producción y en huertos jóvenes de nogal pecanero. Las aplicaciones apropiadas de N son una parte esencial en programas de manejo de huertos para incrementar calidad y productividad (Hu y Sparks, 1992; McEachern, 1999; Wood, 2006; Smith *et al.*, 2007).

En el nogal pecanero la fertilización nitrogenada es esencial para aumentar la producción y mejorar la calidad, pero debe de estar bien balanceada, ya que el N altera la composición de las plantas mucho más que cualquier otro nutriente mineral, pudiendo modificar el contenido de azúcares y proteínas y el almacenamiento de lípidos o aceites (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 1987). McEachern (1985) y Wood (2002) señalan que la fertilización nitrogenada incrementa significativamente los rendimientos en nogal, y que los aspectos positivos del N son visibles en longitud del brote, tamaño de la hoja y su color verde oscuro de la hoja y el follaje denso.

El manejo adecuado de la nutrición de los cultivos, a través de la aplicación oportuna de fertilizantes,

es una parte del proceso de producción que, en combinación con otros factores, fomenta el incremento en el rendimiento y la calidad de las cosechas (Kilby, 1990; Ruiz y Romero, 1999a). Sin embargo, ante el incremento del precio de los fertilizantes y el efecto que se atribuye a su utilización excesiva sobre la contaminación del ambiente, es necesario hacer un uso cada vez más racional de los nutrientes (Sánchez *et al.*, 2004).

La eficiencia agronómica y la recuperación relativa del N permiten conocer con qué cantidad de N el cultivo alcanza su máxima producción y el porcentaje de ese elemento que es absorbido por las plantas. Janssen (1998) señaló que, en la agricultura tradicional, la eficiencia en el uso del N (EUN), en el mejor de los casos, es de 50% cuando el manejo del fertilizante se lleva a cabo adecuadamente.

La baja eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados se debe fundamentalmente a pérdidas: volatilización, lixiviación y desnitrificación (Janssen, 1998). Cuando se emplea el fertirriego, dichas pérdidas disminuyen de manera significativa, debido a la frecuencia de aplicación de N a través del agua de riego durante el ciclo del cultivo, lo que evita su prolongada permanencia en el suelo o substrato y limita, consecuentemente, su pérdida por cualquiera de los procesos (Cadahia, 1997).

Acuña-Maldonado *et al.* (2003) y Smith *et al.* (2004) mencionan que la eficiencia de aplicación de N en nogal pecanero depende de la forma y de la etapa fenológica en que se suministre, por ejemplo, la absorción de N fue mayor cuando se aplicó entre la brotación de yemas y al final de la expansión del brote.

Kraimer *et al.* (2001), estudiando la distribución de fertilizante enriquecido con ¹⁵N que fue aplicado de marzo a junio a árboles de nogal, mencionan que la recuperación de ¹⁵N de tejidos y suelo a final del año de 1996 fueron de 19.5 y 35.4%, respectivamente. La cosecha removió el 4.0% del fertilizante nitrogenado aplicado, mientras que el 6.5% fue reciclado con la caída de las hojas y el ruzno. Mientras que Smith *et al.* (2007) mencionan que la recuperación de N por los árboles el primer año fue de 7.2% de la aplicación de pre-brotación (PB) y un 11% de la porción del rápido desarrollo del follaje (RDF) de la aplicación dividida. La aplicación de N fue 210% mayor en PB (marzo) que en RDF (julio), resultando en 118% más N absorbido.

Kraimer *et al.* (2004) trabajando con la recuperación del ¹⁵N del fertilizante enriquecido con el mismo isótopo

se aplicó a árboles de nogal en la estación final de crecimiento, mencionan que el N aplicado en el estado de llenado de almendra se almacenó en tejido perenne para el uso del siguiente año, muy poco se utilizó para el actual crecimiento anual de los tejidos, pudiendo moderar la alternancia en nogal promoviendo un gran reservorio de N para el siguiente año.

Con base en lo anterior se planteó como objetivo del presente trabajo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia de uso del nitrógeno, productividad y calidad de la nuez pecanera cultivada en tres huertos representativos del estado de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo del Cultivo y Diseño Experimental

El presente trabajo se realizó durante los ciclos de producción 2005-2006, en el municipio de Aldama, Chihuahua, México. Se utilizaron, con base en varios años de estudio, tres huertos de nogal pecanero de la variedad Western Schley con las siguientes características: 1) huerto Los Laureles, producción de 1.9 a 2.4 Mg ha⁻¹, distancia de plantación de 14 x 14 m, con 0.6% de materia orgánica, 2.98% de CaCO₃, pH de 7.40, 57.26% de arena, 18.11% de limo y 24.62% de arcilla, conductividad eléctrica de 0.89 dS m⁻¹; 2) huerto El Duende, producción de 2.4 a 2.9 Mg ha⁻¹, distancia de plantación de 12 x 12 m, con 0.73% de materia orgánica, 9.19% de CaCO₃, pH de 7.70, 30.10% de arena, 33.26% de limo y 36.63% de arcilla, conductividad eléctrica de 0.86 dS m⁻¹; y 3) huerto El Edén, producción de 2.9 a 3.5 Mg ha⁻¹, distancia de plantación de 12 x 12 m, con 0.67% de materia orgánica, 3.36% de CaCO₃, pH de 7.47, 31.32% de arena, 35.35% de limo y 33.33% de arcilla, conductividad eléctrica de 1.65 dS m⁻¹. En cada huerto se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones y cinco árboles como unidad experimental, con los siguientes tratamientos de N, utilizando como fuente de N al sulfato de amonio (20.5% de N): 160, 320 y 480 kg ha⁻¹, en siete aplicaciones distribuidas según las siguientes concentraciones con respecto al total: 1) pre-brotación: finales de febrero-principios de marzo, 12.5% de N; 2) inicio de amarre de fruto: mediados-finales de abril, 25% de N; 3) crecimiento del fruto: principios de junio, 12.5% de N; 4) estado acuoso: mediados de julio, 12.5%; 5) estado lechoso: mediados de agosto, 12.5% de N; 6) maduración: mediados a finales de septiembre, 12.5% de N; y 7)

recarga en post-cosecha: mediados de diciembre, 12.5% de N. El fertilizante se colocó en banda a una profundidad de 10 cm de manera alterna en cada aplicación (transversal y paralelo a las hileras respectivamente).

Variables Evaluadas

En cosecha, se evaluó la producción de nuez por árbol, el número de nueces kg⁻¹, el porcentaje de nuez comestible y la eficiencia de uso del N.

Producción de nuez por árbol. Se expresó en kg producidos de nuez por árbol (Westwood, 1982). Ésta se multiplicó por el número de árboles por ha para calcular la producción total por ha.

Número de nueces por kilogramo. Se recolectó un kg de nuez por árbol y se contó el número de nueces presentes (Lagarda *et al.*, 1998).

Porcentaje de nuez comestible. Se descascaró un kg de nueces y de ahí se determinó el porcentaje de nuez comestible en relación al porcentaje de cáscara (Lagarda *et al.*, 1998).

Eficiencia de uso del nitrógeno. Se determinó con base en la relación kg de fruto producido por kg de N aplicado (Janssen, 1998).

Análisis Estadístico

Los datos de los dos años de producción fueron sometidos a un análisis de varianza de manera conjunta. Para la diferencia entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de LSD al 95% (SAS, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción promedio por árbol, aunque no presentó diferencias significativas, tuvo un efecto directamente proporcional conforme se fue incrementando la dosis de N aplicada. El N es uno de los nutrientes que afecta de forma más significativa tanto a la producción como a la calidad de los productos agrícolas y su empleo excesivo puede provocar un descenso en la producción y calidad, disminuyendo las ganancias considerables, mientras que si el aporte de N es el adecuado, la producción total y comercial aumenta (Ruiz y Romero, 1999b).

La EUN es una medida de la eficiencia productiva (Janssen, 1998). En este trabajo, la EUN se disminuyó conforme se incrementó la dosis de N, es decir, la máxima eficiencia se obtuvo con el tratamiento

de 160 kg ha⁻¹ que produjo 16.91 kg de nuez por kg de fertilizante aplicado, mientras que los tratamientos de 320 y 480 kg ha⁻¹ produjeron 9.06 y 6.24 kg de nuez por kg de N aplicado respectivamente (Figura 1). En términos de eficiencia es significativa la diferencia de aplicar 160 kg ha⁻¹ en comparación con 320 y 480 kg ha⁻¹, es decir, hay un ahorro económico por dejar de aplicar 160 y 320 kg ha⁻¹, además de no tener un impacto significativo en el incremento de la producción.

La calidad de la nuez, considera principalmente el porcentaje de nuez comestible, el tamaño del fruto, color, daños de la almendra y otros de menor importancia (Herrera, 2004). En nuestro estudio, no se observaron diferencias significativas sobre el número de nueces por kg por efecto del N aplicado a los árboles, sin embargo, el tratamiento de 160 kg ha⁻¹ presentó el menor número de nueces por kg (139 nueces kg⁻¹) en comparación con los tratamientos de 320 y 480 kg ha⁻¹ que presentaron 140 y 142 nueces kg⁻¹ respectivamente. Lagarda *et al.* (1998), estudiando la calidad de la nuez durante nueve años de evaluación, reportan 139 nueces kg⁻¹ para la variedad Western Schley bajo las condiciones de la Región Lagunera. En nuestro caso, todos los tratamientos estuvieron dentro del valor reportado por Lagarda *et al.* (1998), por lo tanto cumplieron con este parámetro de calidad. Es importante resaltar que el mayor número de nueces por kg, indica que las nueces son más pequeñas y por lo tanto, su calidad es menor.

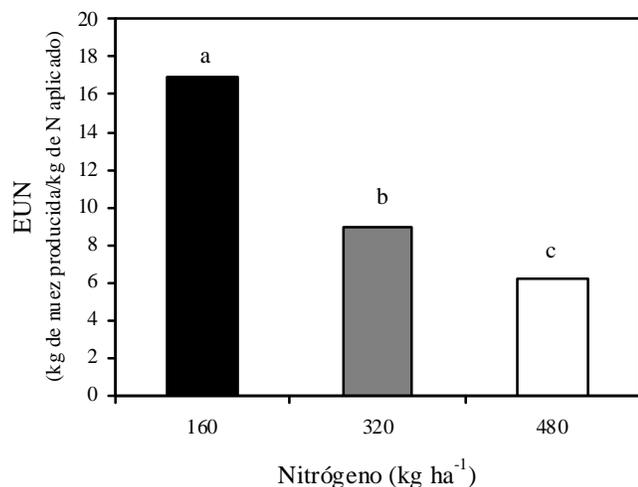


Figura 1. Efecto del nitrógeno sobre la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) en nogal pecanero. Chihuahua, México. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Otra variable de calidad importante es el porcentaje de nuez comestible. En nuestro estudio, no se observaron diferencias significativas en esta variable por efecto de las dosis diferenciales de N. Sin embargo, todos los tratamientos con N estuvieron cerca del valor reportado por Lagarda *et al.* (1998), que es de 55% de porcentaje de nuez comestible, lo que indica que la cantidad de nuez comestible producida en la región de Chihuahua con la variedad Western Schley es bueno.

Con respecto al efecto del huerto sobre la producción y calidad en nogal pecanero bajo distintos tratamientos de nutrición nitrogenada, el huerto El Edén presentó el mayor rendimiento ha⁻¹ (3116 kg ha⁻¹), seguido por El Duende (2695 kg ha⁻¹) y Los Laureles (2421 kg ha⁻¹), lo que indica que estos tres huertos obtuvieron rendimientos por arriba de lo reportado por Lagarda *et al.* (1998) que es de 1460 kg ha⁻¹ (Figura 2).

En relación a la EUN que es hoy en día un parámetro importante en el manejo de la huerta desde el punto de vista de la optimización de fertilizantes y de menor impacto en el ambiente (Janssen, 1998). En nuestro estudio, se presentaron diferencias significativas en la EUN, destacando los huertos El Edén y El duende con valores más altos de 11.42 y 11.13 kg de nuez por kg de N aplicado respectivamente, en comparación al valor más bajo obtenido en el huerto Los Laureles (8.78 kg de nuez por kg de N aplicado) (Figura 3). Esto se puede explicar probablemente a que el huerto Los Laureles

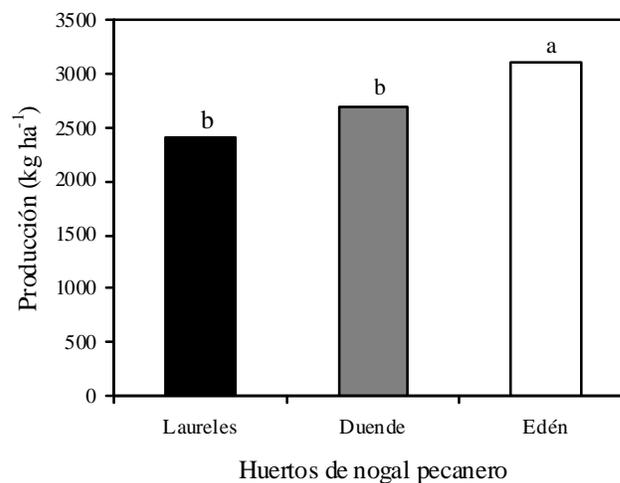


Figura 2. Producción en nogal pecanero en los huertos estudiados. Chihuahua, México. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

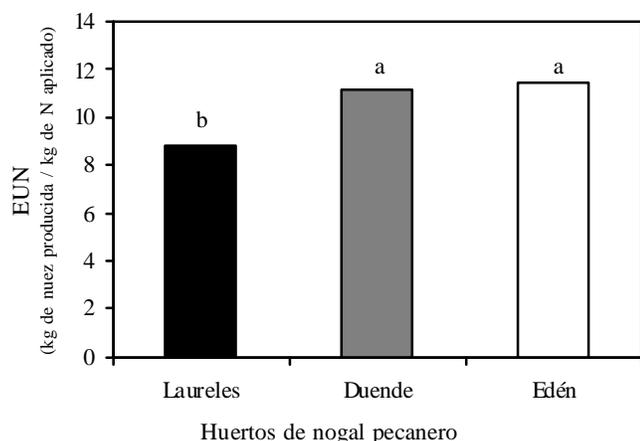


Figura 3. Eficiencia de uso del nitrógeno en los huertos estudiados. Chihuahua, México. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

está compuesto por árboles más jóvenes y además, la distancia de plantación empleada es más amplia (14 x 14 m) a diferencia de los huertos El Edén y El Duende que son árboles con más edad y tienen una distancia de plantación de 12 x 12 m. Acuña-Maldonado *et al.* (2003) y Smith *et al.* (2004) mencionan que la eficiencia de aplicación de N en nogal pecanero depende de la forma y de la etapa fenológica en que se suministre el fertilizante, es decir, ellos encontraron que la mayor absorción de N se presentó cuando se aplicó entre la brotación de yemas y al final de la expansión del brote.

Kraimer *et al.* (2001), trabajando con la distribución de fertilizante enriquecido con ^{15}N que se aplicó de marzo a junio a árboles de nogal, mencionan que la recuperación de ^{15}N de tejidos y suelo a final del año de 1996 fueron de 19.5 y 35.4%, respectivamente. La cosecha removió el 4.0% del fertilizante nitrogenado aplicado, mientras que el 6.5% fue reciclado con la caída de las hojas y el ruzno. Cabe resaltar que estos valores de recuperación de N están por abajo del 50% y pudieran mejorarse con un adecuado manejo del fertilizante como puede ser el uso de sistemas de fertirrigación y aplicados en las etapas de mayor demanda del cultivo.

Kraimer *et al.* (2004) trabajando con la recuperación de ^{15}N del fertilizante enriquecido con el mismo isótopo que se aplicó a árboles de nogal en la estación final de crecimiento, menciona que el N aplicado en el estado de llenado de almendra se almacenó en tejido perenne para el uso del siguiente año, muy poco se usó para el actual crecimiento anual de los tejidos, pudiendo moderar la alternancia en nogal promoviendo un gran reservorio de N para el siguiente año.

Smith *et al.* (2007) mencionan que un manejo eficiente de N promueve una producción consistente y abundante, además, minimiza las pérdidas por lixiviación. Estos mismos autores realizaron un trabajo de recuperación y distribución de N de aplicaciones al inicio de primavera y a mediados de verano en nogal pecanero. En este estudio el N se aplicó en pre-brotación (PB) en una sola aplicación el 10 de marzo a dosis de 1.689 g cm^{-2} de área seccional de tronco, y en aplicación dividida en marzo (70%) seguida por una aplicación a mediados de verano durante el rápido desarrollo del fruto (RDF) en la fecha del 28 de julio (30%) usando fertilizante enriquecido con N^{15} . La recuperación de N por los árboles el primer año fue de 7.2% de la aplicación de PB y un 11% de la porción de RDF de la aplicación dividida. La aplicación de N fue 210% mayor en PB (marzo) que en RDF (julio), resultando en 118% más N absorbido. En cosecha, los frutos contenían 41 y 36% del total de N recuperado durante el primer año de los tratamientos de PB y RDF, respectivamente. Alrededor del 3% del total de N en los frutos fue derivado de la fertilización absorbido durante el año actual. La recuperación fue del 12% para el tratamiento PB y un 19% para el tratamiento RDF para el final de la segunda estación de crecimiento, con 93% más de N absorbido de la aplicación de PB. El N recuperado de la aplicación PB incremento alrededor del 50% mientras los árboles estuvieron dormantes, pero hubo poco cambio en recuperar N cuando fue aplicado durante RDF. Este estudio demostró que los árboles de nogal se mantienen con una adecuada nutrición de N derivada de la mayoría de N usado por las partes anuales del reservorio de N almacenado, aunque el N aplicado fue también rápidamente absorbido y transportado a los sitios de demanda. Dependiendo del reservorio de N endógeno se explica porque el nogal usualmente requiere al menos dos años para responder a la fertilización nitrogenada. Estos resultados enfatizan la importancia de mantener un programa de fertilización anual de N para la producción actual y futura.

En los tres huertos estudiados se observaron diferencias significativas para el número de nueces por kg (Figura 4), destacando los huertos Los Laureles y El Edén con valores de 133 nueces kg^{-1} respectivamente, con relación al huerto El Duende que obtuvo 160.75 nueces por kg, siendo éstas últimas nueces más pequeñas y de menor calidad, según lo indica Lagarda *et al.* (1998) que encontraron un valor de alrededor de 139 nueces por kg para la variedad Western Schley.

Con relación al porcentaje de nuez comestible, se encontraron diferencias significativas, destacando los huertos Los Laureles y El Edén (Figura 5). Lagarda *et al.* (1998) encontraron valores estándar de porcentaje de nuez comestible mayores a 55%. Los huertos Los Laureles y El Edén cumplen sobradamente con este parámetro de calidad, caso contrario ocurrió con el huerto El Duende, lo que respalda nuevamente que la mejor calidad de nuez se produjo en los huertos Los Laureles y El Edén (Figura 5).

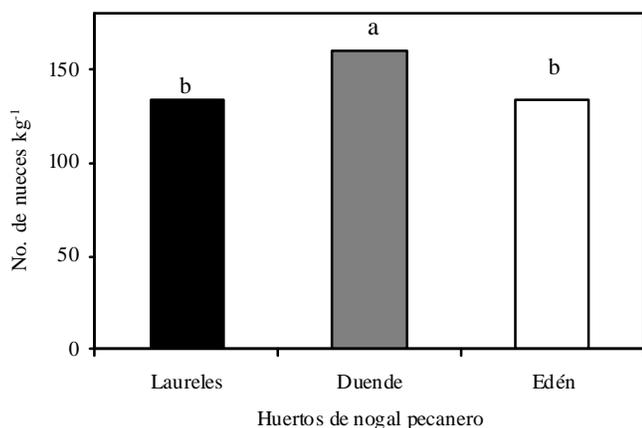


Figura 4. Número de nueces por kilogramo en los huertos estudiados. Chihuahua, México. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

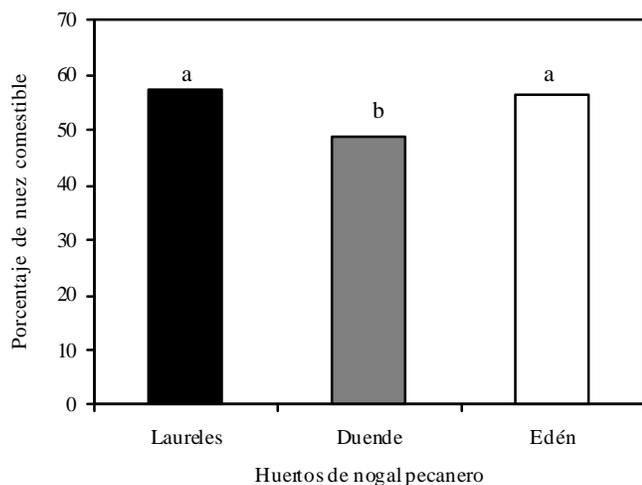


Figura 5. Porcentaje de nuez comestible en los huertos estudiados. Chihuahua, México. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

- La máxima eficiencia de uso del nitrógeno se obtuvo con el tratamiento de 160 kg ha⁻¹ que produjo 16.91 kg

de nuez por kilogramo de fertilizante aplicado, mientras que los tratamientos de nitrógeno de 320 y 480 kg ha⁻¹ produjeron 9.06 y 6.24 kg de nuez por kilogramo de nitrógeno aplicado respectivamente.

- El número de nueces por kilogramo fue menor con el tratamiento de 160 kg ha⁻¹ (139 nueces kg⁻¹) en comparación con los tratamientos de 320 y 480 kg ha⁻¹ que presentaron 140 y 142 nueces kg⁻¹ respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Acuña-Maldonado, L. E., M. W. Smith, N. O. Maness, B. S. Cheary, and B. L. Carrol. 2003. Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128: 155-162.
- Cadahia L., C. 1997. *Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1999. *Paquete tecnológico y costos del cultivo del nogal pecanero para la región de Jiménez, Chih. Chihuahua, México*.
- Herrera, E. 2004. *El cultivo de nogal pecanero*. Editorial Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Hu, H. and D. Sparks. 1992. Nitrogen and sulfur interaction influences net photosynthesis and vegetative growth of pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 59-64.
- Janssen, B. H. 1998. Efficient use of nutrients: An art of balancing. *Field Crops Res.* 56: 197-201.
- Kilby, M. 1990. Pecan fertilizer practices. pp. 29-32. *In: First Arizona Pecan Conference Proceedings*. University of Arizona Press. Tucson, AZ, USA.
- Kraimer, R. A., W.C. Lindemann, and E. A. Herrera. 2001. Distribution of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan: A case study. *HortScience* 36: 308-312.
- Kraimer, R. A., W. C. Lindemann, and E. A. Herrera. 2004. Recovery of late-season ¹⁵N-labeled fertilizer applied to pecan. *HortScience* 39: 256-260.
- Lagarda, M. A., M. D. C. Medina, and J. Arreola. 1998. Productive performance of 14 pecan cultivars in the arid zone of the North of Mexico. pp. 194-200. *In: Third National Pecan Workshop Proceedings*. Las Cruces, NM, USA.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic Press. London, UK.
- McEachern, G. R. 1985. *Pecan fertilization in Texas pecan orchard management handbook*, Texas A&M University. Galveston, TX, USA.
- McEachern, G. R. 1999. Looking ahead for pecans. *Pecan South* 32: 1-6.
- Mengel, H. and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. 4th ed. International Potash Institute. Bern, Switzerland.
- Ruiz, J. M. and L. Romero. 1999a. Nitrogen efficiency and metabolism in grafted melon plants. *Sci. Hortic.* 81: 113-123.
- Ruiz, J. M. and L. Romero. 1999b. Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Sci. Hortic.* 82: 309-316.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007. *Resumen de cierre de siembras y cosechas para cultivos perennes. Sub-Delegación de planeación*. SAGARPA. Delegación Estatal Chihuahua. Chihuahua, México.

- Sánchez, E., R. M. Rivero, J. M. Ruiz, and L. Romero. 2004. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH_4NO_3 application rates. *Sci. Hortic.* 99: 237-248.
- SAS Institute. 1987. SAS/STAT User's guide. Version 6; SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Smith, M. W., B. S. Cheary, and B. L. Carroll. 2004. Response of pecan to nitrogen rate and nitrogen application time. *HortScience* 39: 1412-1415.
- Smith, M. W., B. W. Wood, and W. R. Raun. 2007. Recovery and partitioning of nitrogen from early spring and midsummer applications to pecan trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 132: 758-763.
- Westwood, N. H. 1982. *Fruticultura en zonas templadas*, Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Wood, B. W. 2002. Late nitrogen fertilization in pecan orchards. pp. 47-59. *In: A review. Proceedings 36th. Western pecan conference.* Las Cruces, NM, USA.
- Wood, B. W. 2006. Mineral nutrition of pecan with emphasis on nitrogen. pp. 11-21. *In: Proceedings of Ciclo de Conferencias Internacionales de Nogalero a Nogalero.* Saltillo, Coah., México.