

INTERACCIONES NUTRIMENTALES Y NORMAS DE DIAGNÓSTICO DE NUTRIMENTO COMPUESTO EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*)

J. L. García-Hernández^{1,2†}; I. Orona-Castillo²;
G. González-Cervantes³; R. D. Valdez-Cepeda^{4,5};
B. Murillo-Amador¹; E. Troyo-Diéguez¹;
M. Fortis-Hernández⁶; M. A. Segura-Castruita⁶

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Mar Bermejo Núm. 195,
Col. Playa Palo Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23090. MÉXICO.
Correo-e: luis_garher@hotmail.com ([†]Autor responsable)

²Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Agricultura y Zootecnia.
Ej. Venecia, Gómez Palacio, Durango, MÉXICO.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CENID-RASPA.
Gómez Palacio, Durango, MÉXICO.

⁴Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Universitario Centro Norte.
Apartado Postal 196, C. P. 98001. Zacatecas, Zacatecas, MÉXICO.

⁵Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas.
Paseo Solidaridad Esq. Carretera a La Bufa. Zacatecas, Zacatecas, MÉXICO.

⁶Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, MÉXICO

RESUMEN

El cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) es actualmente uno de los de mayor rentabilidad en el norte de México. En la región conocida como la Comarca Lagunera que comprende parte de los estados de Coahuila y Durango se han reportado diversos desbalances nutrimentales que afectan el rendimiento y productividad de este cultivo. Este estudio fue desarrollado para determinar las normas de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) y para estudiar las interacciones entre nutrimentos de dicho cultivo. A través de la metodología de DNC se determinó el valor mínimo de alto rendimiento de fruto maduro, así como los rangos de macronutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) óptimos correspondientes en el tejido foliar, los cuales son llamados normas nutrimentales. Estas normas se definieron considerando un valor de rendimiento mínimo de 1.39 t·ha⁻¹ en este cultivo. Los análisis de componentes principales, utilizando los índices de DNC, permitieron identificar las siguientes interacciones: positiva N-R y negativas N-Ca, K-Mg y P-Ca.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: rendimiento, nutrición vegetal, balance nutrimental, nogal.

NUTRIENT INTERACTIONS AND COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS NORMS IN PECAN TREE (*Carya illinoensis*)

ABSTRACT

Pecan (*Carya illinoensis*) is currently one of the most profitable crops in northern Mexico. There are several reports about different nutrimental imbalances affecting the yield and productivity of this species at the region identified as Comarca Lagunera, which shares portions of the States of Coahuila and Durango. This study was developed to calculate the preliminary compositional nutrient diagnosis (CND) norms of this species and to identify nutrient interactions. The yield target for mature fruit of this crop was assessed through the CND approach, as well as the corresponding optimum ranges of macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg) foliar content, which are called CND nutrient norms. These norms qualify the minimum yield of 1.39 t·ha⁻¹ for this crop. The statistical principal component analyses, performed using estimated CND nutrient indexes, allowed us to identify the following nutrient interactions: positive N-R, and negative N-Ca, K-Mg, and P-Ca.

ADDITIONAL KEY WORDS: yield, plant nutrition, nutrient balance, pecan.

INTRODUCCIÓN

En México, la superficie de nogal pecanero (*Carya illionensis*) en condiciones de riego es de 75 mil hectáreas (SAGARPA-SIAP, 2008). La rentabilidad de este frutal perenne ha sido superior a la de muchos cultivos anuales en los últimos años, por lo que en la Comarca Lagunera se ha extendido tanto la superficie como el valor de su producción (Orona *et al.*, 2006). Las primeras plantaciones de nogal en la región se establecieron en 1948 y actualmente el valor de la producción de nuez ocupa el primer lugar entre los frutales de la región, con un valor aproximado de 200 millones de pesos (SAGARPA-SIAP, 2008). Otros estados productores importantes son Chihuahua, Nuevo León y Sonora, que junto con Coahuila y Durango representan el 92 % de la producción nacional. Sin embargo, existen diversas limitantes para su producción por lo que el rendimiento medio a nivel nacional es bajo, de menos de 1.3 t·ha⁻¹ (SAGARPA, 2005). Dentro de dichas limitantes se encuentran las deficiencias y desbalances nutrimentales (Medina, 2002), por lo que el entendimiento de los mecanismos que contribuyen a la absorción, transporte, síntesis y acumulación de los nutrimentos en diversos ambientes es esencial para mejorar el valor nutritivo vegetal en términos de composición y concentración de nutrimentos (Marschner, 1995).

En este contexto, ya se han publicado las normas de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) para diversos cultivos anuales, e incluso en una especie perenne como lo es el nopal (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2005; Blanco-Macías *et al.*, 2006). Los métodos de DNC y análisis de componentes principales han sido considerados como técnicas apropiadas para diagnosticar el estado nutrimental e identificar interacciones nutrimentales en papa (*Solanum tuberosum*) (Khiari *et al.*, 2001), chile (*Capsicum annum*) (García-Hernández *et al.*, 2004; Valdez-Cepeda *et al.*, 2005), sábila (*Aloe vera*) (García-Hernández *et al.*, 2006) y maíz (*Zea mays*) (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006), entre otros cultivos. El método de DNC se fundamenta en una sólida base matemática para definir el valor de rendimiento crítico apropiado para discriminar entre sub-poblaciones de alto y bajo rendimiento (Parent y Dafir, 1992). Ello se logra al considerar el punto de inflexión en la relación cúbica entre el rendimiento y cada una de las funciones de proporción de varianza acumulada (Parent y Dafir, 1992). También, esta técnica contempla la estimación de índices para cada elemento, al involucrar en su cálculo la proporción entre cada uno de los nutrimentos y los demás, incluyendo un elemento de relleno (R) que sustituye a los elementos no cuantificados en la muestra foliar. Esas son algunas de las ventajas del método de DNC con respecto a otras técnicas de diagnóstico como el sistema integrado de diagnóstico-recomendación (SIDR o DRIS por sus siglas en inglés) y la de valor crítico, entre otras.

Los objetivos de este estudio fueron: i) calcular las normas preliminares de DNC en el cultivo de nogal pecanero

para una localidad ubicada en la Comarca Lagunera; e ii) identificar interacciones significativas entre los nutrimentos a través del análisis de componentes principales tomando en consideración los índices de DNC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo está basado en datos obtenidos en el Campo Experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del estado de Durango, en el Ejido Venecia, municipio de Gómez Palacio, Durango, México, en la región conocida como Comarca Lagunera. Esta región se localiza entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte. La altura media sobre el nivel del mar es de 1,139 m. El clima es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rangos de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima. La evaporación anual media aproximadamente es de 2,396 mm.

Los suelos de la región son de aluvión, profundos y arcillosos. Durante el experimento se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Los análisis para determinar el contenido de macro-elementos se realizó de la siguiente forma: N-NO₃ con el método de Kjeldahl (Jackson, 1958), P con el método de Olsen y Ca y Mg con el método volumétrico (Cheng y Bray, 1951). El pH fue analizado en solución 1:2 (agua deionizada:suelo) con potenciómetro y la conductividad eléctrica (CE) usando un conductivímetro.

Los valores obtenidos en los respectivos análisis a las tres profundidades mencionadas fueron los siguientes (los valores se muestran en orden respecto a la profundidad 0-30, 30-60 y 60-90 cm): 30.22, 42.88 y 38.35 mg·kg⁻¹ de N-NO₃, 50.95, 69.05 y 53.64 mg·kg⁻¹ de P, 7.81, 4.24 y 7.43 mg·kg⁻¹ de Ca, 4.911, 5.13 y 4.27 mg·kg⁻¹ de Mg, pH= 7.74, 7.98 y 7.69, CE= 0.50, 0.22 y 0.41, la materia orgánica presentó valores de 1.39, 1.04 y 1.45 %.

Los tratamientos de herbicidas, fungicidas e insecticidas fueron aplicados de acuerdo a las prácticas estándar para mantener las plagas por debajo de los umbrales económicos.

Durante la etapa de floración se colectaron 83 muestras foliares tomadas de diferentes árboles visiblemente sanos distribuidos en el lote experimental de aproximadamente 2 hectáreas, de acuerdo a la metodología de obtención de muestras foliares recomendada por Chávez *et al.* (2002). Las variedades del huerto son Western y Wichita. Cada muestra fue limpiada con agua destilada y deshidratada hasta peso constante. Posteriormente, cada muestra fue analizada para determinar los contenidos de N, P, K, Ca y Mg. El N fue obtenido por el método de Kjeldahl. El K, Ca y

Mg fueron estimados usando un espectrofotómetro de absorción atómica (Shimadzu AA-660, Kyoto, Japón) después de la digestión con una mezcla de H_2SO_4 , HNO_3 y $HClO_4$. El P fue analizado colorimétricamente a través del método azul complejo fosfo-molibdato. Las plantas que fueron usadas para coleccionar las muestras foliares se emplearon para estimar el rendimiento considerando la producción de fruto fresco en cinco fechas distribuidas en nueve meses durante el primer año de producción. Posteriormente, cada observación de rendimiento fue relacionada con las concentraciones de nutrientes correspondientes en la base de datos.

Las normas de DNC fueron determinadas de acuerdo al procedimiento teórico-matemático descrito en primera instancia en Khiari *et al.* (2001) y, posteriormente, en García-Hernández *et al.* (2004; 2005; 2006), Magallanes-Quintanar *et al.* (2005; 2006) y Blanco-Macías *et al.* (2006) usando el programa Excel 2000 (Microsoft Corp., 2000), tal y como se describe.

Las concentraciones de los nutrientes fueron transformadas a proporciones invariantes (centradas) al dividir las por la media geométrica. Posteriormente, se determinaron los logaritmos de las proporciones centradas: V_N , V_P , V_K , V_{Ca} , V_{Mg} y V_R .

A su vez, esos valores fueron usados para calcular las proporciones de varianza [$f_i(V_X)$] entre grupos de observación asociados a altos y bajos rendimientos considerando el procedimiento de Cate-Nelson: primeramente las dos observaciones con mayor rendimiento conformaron el grupo de alto rendimiento y el resto de observaciones el grupo de bajo rendimiento; en la siguiente repetición del proceso (iteración) el grupo de alto rendimiento se conformó por tres observaciones, mientras que el de bajo rendimiento por una observación menos que el grupo de bajo rendimiento asociado a la iteración inicial; y así sucesivamente.

Después, el valor de la función de proporción de varianza acumulada [$F_i^C(V_X)$] se estimó, para cada repetición o paso del proceso (iteración), como la suma de las proporciones de varianza. La función de proporción de varianza acumulada se calcula al considerar la proporción entre la sumatoria de las proporciones de varianza en cada iteración y la sumatoria de las proporciones de varianza de todas las iteraciones (constante), de donde resulta una función cúbica útil para comparar la fuerza discriminativa de los logaritmos de las proporciones centradas (V_X) entre los grupos de alto y bajo rendimiento, sobre una escala común.

Los puntos de inflexión para diferenciar entre las subpoblaciones de altos y bajos rendimientos fueron

determinados después de examinar las seis funciones cúbicas ajustadas al considerar las relaciones entre cada función de varianza acumulada [$F_i^C(V_N)$, $F_i^C(V_P)$, ..., $F_i^C(V_R)$] y el rendimiento.

Para identificar interacciones importantes se realizaron análisis de componentes principales con el programa Statistica Versión 6 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estimadores estadísticos descriptivos de la variable rendimiento presentaron los siguientes valores: media = 1.13 t·ha⁻¹, mínimo = 0.17 t·ha⁻¹, máximo = 2.50 t·ha⁻¹ y desviación estándar = 0.55 t·ha⁻¹.

Normas de diagnóstico de nutriente compuesto

Las seis funciones cúbicas experimentales, entre cada función de varianza acumulada [$F_i^C(V_N)$, $F_i^C(V_P)$, ..., $F_i^C(V_R)$,] y el rendimiento, se aprecian en la Figura 1. Todas las funciones se ajustaron a un patrón cúbico (Cuadro 1). Los valores de rendimiento asociados a los puntos de inflexión fueron 1.39, 1.29, 0.61, 0.69, 0.30 y 1.19 t·ha⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg y R, respectivamente (Cuadro 1). Puesto que los índices globales de desbalance nutricional (DNC r^2) se ajustan a una distribución χ^2 (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006), la teoría del método de DNC recomienda tomar el valor de rendimiento más alto para ser usado en la partición de las observaciones en subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, como el rendimiento con el que

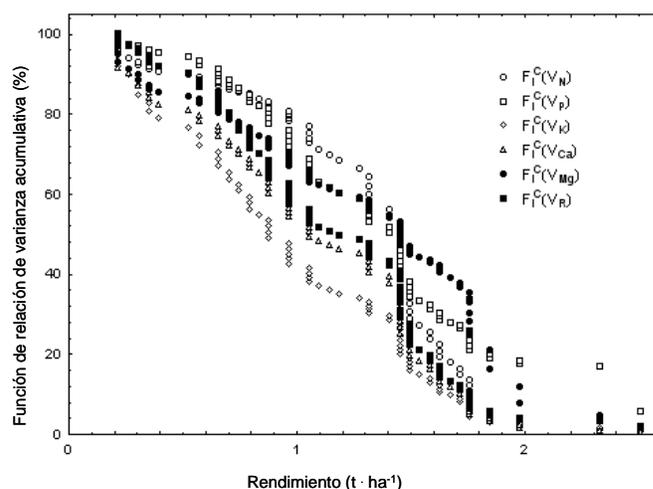


FIGURA 1. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento en nogal pecanero en la Comarca Lagunera y las funciones de proporción de varianza acumulada en el arreglo S^5 para estimar el punto de inflexión y el rendimiento crítico para separar a las sub-poblaciones de alto y bajo rendimiento.

CUADRO 1. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión para cada función asociada a proporción de logaritmos centrados versus rendimiento en nogal pecanero en la Comarca Lagunera en la población estudiada (n = 83).

Nutrimiento X	$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	R ²	Rendimiento (t·ha ⁻¹) en los puntos de inflexión (-b / 3a)
N	32.51Y ³ - 136.31Y ² + 106.95Y + 72.607	0.9671	1.39
P	21.214Y ³ - 82.204Y ² + 40.162Y + 92.778	0.9901	1.29
K	7.3545Y ³ - 13.623Y ² - 54.429Y + 106.08	0.9893	0.61
Ca	17.426Y ³ - 61.97Y ² + 8.589Y + 92.066	0.9836	0.69
Mg	4.075Y ³ - 23.464Y ² - 6.9803Y + 94.938	0.9772	0.30
R	19.451Y ³ - 69.467Y ² + 13.291Y + 97.812	0.9832	1.19

se estima el valor crítico en la función de distribución acumulada de χ^2 , en este caso se eligió el rendimiento de 1.39 t·ha⁻¹ asociado a la función cúbica que involucra al N. Considerando este resultado, el 42 % de las observaciones que constituyeron la sub-población de alto rendimiento.

En el Cuadro 2 se presentan las normas preliminares de DNC como medias y desviaciones estándar (V_X^* y SD_X^* , respectivamente) para nogal pecanero de la localidad en estudio, así como los rangos de concentración óptima correspondientes a cada nutrimento. En promedio, la concentración foliar óptima para un rendimiento referenciado en un rendimiento mínimo de 1.39 y máximo de 2.5 t·ha⁻¹ fue de 20.89, 1.09, 13.93, 12.82 y 2.7 g·kg⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg respectivamente. En comparación con estos valores, se encontraron diversos análisis de la concentración foliar de estos elementos en nogal, en los cuales se calcularon los índices DRIS para determinar el orden de requerimientos de nutrimentos y los índices de desbalance nutricional de los análisis foliares (Worley, 1974; Medina y Aguilar, 1989; Medina *et al.*, 1999; Medina y Chávez, 1999). A diferencia

del presente estudio, realizado en la Comarca Lagunera donde los suelos presentan características alcalinas y calcáreas, el trabajo de Worley (1974) fue realizado en suelos ácidos y los requerimientos fueron mayores con respecto a Ca y Mg, seguidos por N, K y P. Una probable explicación respecto a las concentraciones óptimas encontradas en este estudio se da precisamente en las diferencias en el suelo. Por otro lado, los trabajos de Medina y Aguilar (1989), Medina *et al.* (1999) y Medina y Chávez (1999) fueron realizados en localidades cercanas a la del presente estudio. Tales reportes han presentado algunas variaciones respecto al orden de requerimientos, así como a la concentración recomendada de los nutrimentos en el tejido foliar, pero básicamente las diferencias han sido explicadas por los diversos esquemas y dosis de fertilización. En ese grupo de trabajos de investigación, se reportaron valores entre las siguientes concentraciones foliares: de 19 a 27 g·kg⁻¹ de N, de 0.9 a 1.6 g·kg⁻¹ de P, de 10 a 22 g·kg⁻¹ de K, de 12 a 23 g·kg⁻¹ de Ca y de 3.2 a 6.2 g·kg⁻¹ de Mg. De los diferentes valores de concentración que se reportaron en dicho conjunto de trabajos, se han recomendado como las más apropiadas las

CUADRO 2. Normas preliminares (Media y DE de las V_X^*) de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) para d = 5 nutrimentos y rangos de concentración óptimos (concentración media y desviación estándar, DE) en nogal pecanero en la Comarca Lagunera con un rendimiento de referencia de 1.4 t·ha⁻¹.

Relaciones logarítmicas centradas	Media V_X^*	DE V_X^*	Nutrimento	Media (g·kg ⁻¹)	DE (g·kg ⁻¹)
V_N^*	0.352	0.064	N	20.89	0.98
V_P^*	-2.607	0.109	P	1.09	0.16
V_K^*	-0.062	0.133	K	13.93	2.33
V_{Ca}^*	-0.147	0.125	Ca	12.82	2.04
V_{Mg}^*	-1.705	0.141	Mg	02.70	0.43
$V_{R_5}^*$	4.169	0.065	R	948.55	3.53
$\sum V_X$	0	-	"	1000.00	-

concentraciones más altas. Sin embargo, cabe insistir en que el método de DRIS no proporciona por sí misma un mecanismo de determinación del valor de rendimiento óptimo con respecto a las concentraciones foliares, mientras que el método de DNC empleado en el presente estudio permite determinar matemáticamente el rango de rendimiento alto con respecto a las normas que se generan y a las concentraciones óptimas correspondientes (Khiari *et al.*, 2001). En este sentido, los valores de rendimiento determinados como la subpoblación de alto rendimiento para este cultivo en la Comarca Lagunera se establecieron entre los 1.39 y 2.5 t·ha⁻¹, los cuales, de acuerdo con diversos autores se encuentran en el límite superior de rendimiento en que el árbol de nogal pecanero puede producir fruto de calidad aceptable, ya que por arriba de estos valores de referencia, el porcentaje de almendra y el tamaño de la nuez invariablemente disminuyen, incrementando significativamente la presencia de nuez germinada y ruzno pegado (Sparks *et al.*, 1995; Sparks, 1996; Godoy *et al.*, 1999; Godoy y López, 2000).

Estos resultados confirman que es importante realizar la validación de las normas que se establecen para una localidad con condiciones edafo-climáticas específicas.

Las normas preliminares de DNC identificadas fueron utilizadas para estimar los índices nutrimentales de DNC (I_N , I_P , ..., I_R) y de desbalance (DNC r^2) para cada observación. Los datos de DNC r^2 se ajustaron significativamente ($R^2 > 0.999$; $p < 0.0001$) a la función de distribución χ^2 (Figura 2). El valor crítico de χ^2 debe ser considerado en los trabajos de validación de las normas de DNC, porque cada base de datos independiente debe estar caracterizada teóricamente por un valor similar (Khiari *et al.*, 2001).

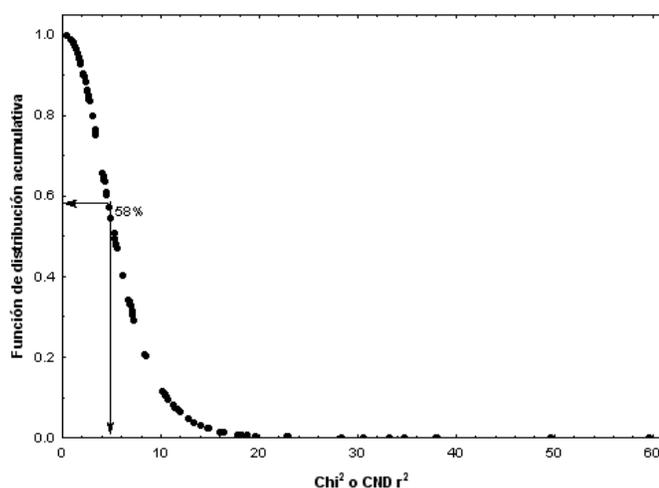


FIGURA 2. Función de distribución acumulada de χ^2 con seis grados de libertad para obtener el valor crítico teórico de DNC r^2 en el arreglo S⁵ asociado al 58 % de la población (subpoblación de bajo rendimiento).

Interacciones entre nutrimentos

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó con los índices de DNC considerando tres casos: la base de datos completa (83 observaciones) y las subpoblaciones de alto (35 observaciones) y bajo rendimiento (48 observaciones). Los coeficientes de correlación significativos en el ACP fueron obtenidos de la forma sugerida por Gutiérrez-Acosta *et al.* (2002) a través de la rotación de los componentes para maximizar la variación. En el caso de la población completa, un nivel de explicación de la varianza aceptable (79.3 %) del total se encontró en los tres primeros componentes principales (CP's) (Cuadro 3). Mientras, en los otros dos casos (subpoblaciones de alto y bajo rendimiento), los primeros dos CP's explicaron el 66.1 y el 68.0 % de la varianza total.

Se aprecia que la estructura de los CP's, en cada caso, es definida por diferentes variables. En el caso de la población completa (Cuadro 3), el primer CP está positivamente correlacionado con I_K y negativamente con I_{Mg} , sugiriendo la interacción negativa significativa para K-Mg. El segundo CP se correlaciona negativamente con I_P . Adicionalmente, el tercer CP se correlaciona positivamente con I_{Ca} y negativamente con I_N , lo cual sugiere, a su vez, la interacción negativa significativa N-Ca.

Para la sub-población de alto rendimiento (Cuadro 3), la estructura del CP1 está definida por I_N e I_R , correlacionados en forma positiva, al igual que I_K e I_{Mg} , que se correlacionan negativa y significativamente en el CP2, así entonces, la estructura de ambos CP's sugiere la interacción positiva entre N y R, así como la interacción negativa entre K y Mg. En el caso de la sub-población de bajos rendimientos, la estructura del CP1 está definida positivamente por I_N y negativamente por I_{Ca} , lo cual indica la posible importancia de la interacción negativa N-Ca. La estructura del CP2 está claramente definida por un posible antagonismo entre P y K.

De tales expresiones nutrimentales, la interacción negativa entre K y Mg está presente en las estructuras de los CP's en la población completa y la sub-población de alto rendimiento, mientras que el antagonismo N-Ca está definido como importante en la estructura de los CP's asociados a la población total y a la de bajos rendimientos (Cuadro 3). Ambas interacciones, una positiva o sinérgica y la otra antagónica pudieran considerarse las de mayor determinación en la discriminación entre subpoblaciones de alto y bajo rendimiento en nogal pecanero.

De los aparentes efectos antagónicos y sinérgicos entre nutrimentos observados en el presente estudio, algunos han sido ya reconocidos y reportados en otras especies y otros tipos de suelo. Sin embargo, algunas de tales interacciones no han sido plenamente explicadas con bases fisiológicas sólidas o bien existe muy poca información al respecto. En este contexto, la interacción negativa N-Ca ha

CUADRO 3. Coeficientes de correlación entre los primeros componentes principales (CP's) y los índices de DNC para la población completa (83 observaciones), y las sub-poblaciones de alto (35 observaciones) y bajo rendimiento (48 observaciones) en nogal pecanero calculados a partir de la matriz normalizada con rotación de los CP's para maximizar la varianza.

Indíces CND	PC1 ^z	PC2 ^z	PC3 ^z	PC1 ^y	PC2 ^y	PC1 ^Y	PC2 ^Y
I_N	-0.057	0.113	-0.888	0.856	0.154	0.913	0.116
I_P	0.128	-0.965	0.036	-0.307	-0.636	-0.080	-0.892
I_K	0.754	0.500	-0.024	0.134	-0.769	0.021	0.802
I_{Ca}	-0.228	-0.039	0.830	-0.677	0.333	-0.841	-0.121
I_{Mg}	-0.885	0.228	0.145	-0.091	0.833	-0.160	-0.085
I_R	0.330	0.558	-0.420	0.909	0.051	0.357	0.690
Varianza explicada	1.534	1.559	1.679	2.141	1.831	2.221	1.931
Proporción del total	0.255	0.259	0.279	0.356	0.305	0.365	0.315

Valores en negritas son los dominantes en las cargas eigenvector en nivel de significancia > 0.7.

^zValores para la base de datos completa.

^yValores para la sub-población de alto rendimiento.

^YValores para la sub-población de bajo rendimiento.

sido ya reportada para los cultivos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el estado de Zacatecas (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004) y frijol yorimón (*Vigna unguiculata*) cultivado en zonas áridas (García-Hernández *et al.*, 2005). Dicha interacción puede ser consecuencia de una correlación negativa entre los iones NH_4^+ y Ca^{2+} (Marschner, 1995). Asimismo, se ha reportado que al incrementarse la relación NH_4^+/NO_4^+ , las plantas tienden a acumular menos Ca^{2+} en el tejido foliar (Grattan y Grieve, 1999).

El antagonismo P-K no ha sido explicado fisiológicamente; sin embargo, Reneau *et al.* (1983) demostraron que la interacción P-K es importante en la producción de sorgo. En otro tipo de suelos desérticos, arenosos, pero igualmente alcalinos y calcáreos, se ha reportado ya la interacción negativa entre P y K para el cultivo de chile *Capsicum frutescens* (García-Hernández *et al.*, 2007). De igual forma, la interacción negativa entre K y Mg ha sido ya reportada para cultivos como banano (*Musa paradisiaca*) (Raghupathi *et al.*, 2002) y sábila (García-Hernández *et al.*, 2006). En el caso de Mg, este elemento ha sido señalado como uno de los nutrimentos clave en el balance nutrimental del nogal pecanero (Medina, 2002).

En lo que se refiere a la subpoblación de altos rendimientos, el R interactuó positivamente con N, sugiriéndose la importancia del balance entre el nutrimento de relleno R con los demás elementos, especialmente con el de mayor demanda como lo es el N.

CONCLUSIONES

Las normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto, tomando como referencia un rendimiento mayor a $1.39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, se asocian a la siguiente composición foliar óptima en $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (media \pm desviación estándar): N = 20.89 ± 0.98 , P = 1.09 ± 0.16 , K = 13.93 ± 2.33 , Ca = 12.82 ± 2.04 , y Mg = 2.70 ± 0.43 . En consistencia con otros reportes de trabajos realizados en la misma región, los

nutrimentos de mayor concentración en el tejido foliar de este cultivo son el N, K y Ca. El valor de rendimiento que permite separar a la sub-población de altos de la de bajos rendimientos en el cultivo de nogal pecanero en la Comarca Lagunera fue de $1.39 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Cuatro interacciones nutrimentales fueron identificadas; una positiva (N-R) y tres negativas (N-Ca, K-Mg y P-K). Las interacciones negativas entre K y Mg y N-Ca pudieran considerarse como las de mayor significancia en la discriminación entre subpoblaciones de alto y bajo rendimiento en nogal pecanero en la región de estudio.

LITERATURA CITADA

- BLANCO-MACÍAS, F.; LARA-HERRERA, A.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; CORTÉS-BAÑUELOS, J. O.; LUNA-FLORES, M. SALAS-LUÉVANO, M. A. 2006. Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). Revista Chapingo, Serie Horticultura 12(2): 165-175.
- CHÁVEZ, J. F.; MEDINA, M. C.; FIGUEROA, U. 2002. Tecnología de Producción en Nogal Pecanero. Libro Técnico Núm. 3, INIFAP-SAGARPA. CELALA, Matamoros, Coahuila. 224 p.
- CHENG, K. L.; BRAY, R. H. 1951. Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. Soil Science 72: 449-458
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; MURILLO-AMADOR, B.; NIETO-GARIBAY, A.; BELTRÁN, L. F.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; TROYO-DIÉGUEZ, E. 2004. Com-positional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 509-515
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; ÁVILA-SERRANO, N. Y.; MURILLO-AMADOR, B.; NIETO-GARIBAY, A.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; LARRINAGA, J.; TROYO-DIÉGUEZ, E. 2005. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) grown on desert calcareous soil. Plant and Soil 217(1-2): 297-307.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; MURILLO-AMADOR, B.; BELTRÁN, F. A.; RUIZ, F. H.; ORONACASTILLO, I.; FLORES, A.; TROYO-DIÉGUEZ, E. 2006. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in *Aloe*

- vera L. grown on calcareous soil in an arid environment. *Environmental and Experimental Botany* 58(1-3): 244-252.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ J. L.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; SERVÍN-VILLEGAS, R.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; MURILLO-AMADOR, B.; RUEDA-PUENTE, E. O.; RODRÍGUEZ-ORTIZ, J. C.; MAGALLANES-QUINTANAR, R. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en una variedad semidomesticada de *Capsicum frutescens*. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13(2): 133-140
- GODOY, C.; LÓPEZ, I. 2000. Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. *Terra* 18(4): 305-311.
- GODOY, C.; REYES, I.; HUITRON, M. 1999. Respuesta del nogal a la disponibilidad del agua. pp. 35-42. *In: Tecnología de riego en nogal pecanero*. Libro científico Núm. 1. Primera Edición. SAGAR. CIFAP-Comarca Lagunera.
- GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78: 127-157
- GUTIÉRREZ-ACOSTA, F.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; BLANCO-MACÍAS, F. 2002. Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits from a germplasm collection. *Acta Horticulturae* 58: 111-118.
- JACKSON, M. L. 1958 *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA. 662 pp.
- KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. 2001. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal* 93: 802-808.
- MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; BLANCO-MACÍAS, F.; MÁRQUEZ-MADRID, M.; RUIZ-GARDUÑO, R. R.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; MURILLO-AMADOR, B.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. D.; MARTÍNEZ-RUBÍN DE CELIS, E. 2005. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 6: 78-89.
- MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; OLIVARES, E.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. D. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2019-2033.
- MARSCHNER, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Inc., New York, 887 p.
- MEDINA, C. 2002. Desbalance nutrimental y respuesta en rendimiento en experimentos de fertilización en nogal pecanero. *Terra* 20: 497-504.
- MEDINA, C.; AGUILAR, J. H. 1989. Curva de respuesta a fósforo en nogal pecanero en el Norte de Coahuila. Informe de Investigación. CAEZAR-Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. INIFAP-SAGARPA. Zaragoza, Coahuila, México.
- MEDINA, C.; MEDINA, E.; AGUILAR, H.; GARCÍA, S. 1999. Aspersiones foliares de manganeso y cobre en nogal pecanero. *Terra* 17: 317-323.
- MEDINA, C.; CHÁVEZ, J. 1999. Efecto del abastecimiento foliar de zinc sobre el balance nutrimental del nogal pecanero. *Terra* 17: 293-298.
- MICROSOFT CORP. 2000. *Microsoft Excel 2000 (Computer Program Manual)*. Troy, NY, USA.
- ORONA, I.; ESPINOZA, J.; GONZÁLEZ, G.; MURILLO, B.; GARCÍA, J. L.; SANTAMARÍA, J. 2006. Aspectos técnicos y socioeconómicos de la producción de nuez (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera, México. *Agricultura Técnica en México* 32(3): 295-301.
- PARENT, L. E.; DAFIR, M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 239-242
- RAGHUPATHI, H. B.; REDDY, B. M. C.; SRINIVAS, K. 2002. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in banana. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2131-2143.
- RENEAU, R. B.; JONES, G. D.; FRIEDERICKS, J. B. 1983. Effect of P and K on Yield and Chemical Composition of Forage Sorghum. *Agron. J.* 75: 5-8
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. México, D.F.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)-SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2008. SIACON 1980-2008. México. Página web: <http://siap.gob.mx>.
- SPARKS, O.; REID, W.; YATES, I.; SMITH, M.; STEVENSON, T. 1995. Fruiting stress induces schuck decline and premature germination in pecan. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120: 43-53.
- SPARKS, O. 1996. A climatic model for pecan production under humid condition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 908-914.
- STATSOFT INC. 2004 *Statistica for Windows (Computer Program Manual)*. StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA.
- VALDEZ-CEPEDA, R. D.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; RUBIO, S.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; MURILLO-AMADOR, B.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; BLANCO, F. 2005. Normas nutrimentales DNC para Chile (*Capsicum annuum*) tipo 'Mirasol' seco. pp. 150-157. *In: Second World Pepper Convention*. Zacatecas, México. (14-16)-08-2005.
- WORLEY, R. E. 1974. Effects of K-P-K and lime on yield, nut quality, tree growth, and leaf analysis of pecan (*Carya illinoensis* W.). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99: 49-57.