



Nova Scientia

E-ISSN: 2007-0705

nova_scientia@delasalle.edu.mx

Universidad De La Salle Bajío

México

Ramírez-Chávez, Rosa I.; López-Martínez, José D.; Troyo-Diéquez, Enrique; Gallegos-Robles, Miguel A.; Vázquez-Vázquez, Cirilo; Ramírez Ibarra, José A.; García-Hernández, José L.

Determinación preliminar de normas e interacciones nutrimentales en chile ancho
(*Capsicum annuum* L) en la Comarca Lagunera

Nova Scientia, vol. 8, núm. 17, noviembre, 2016, pp. 198-218

Universidad De La Salle Bajío

León, Guanajuato, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203349086010>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Revista Electrónica Nova Scientia

Determinación preliminar de normas e interacciones nutrimentales en chile ancho (*Capsicum annuum L*) en la Comarca Lagunera
Preliminary determination of nutrient norms and nutrient interactions on pepper “ancho” (*Capsicum annuum L*) in the Comarca Lagunera

Rosa I. Ramírez-Chávez¹, José D. López-Martínez¹, Enrique Troyo-Diéguex², Miguel A. Gallegos-Robles¹, Cirilo Vázquez-Vázquez, José A. Ramírez Ibarra¹ y José L. García-Hernández¹

¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango

² Programa de Agricultura en Zonas Áridas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur

México

Dr. José L. García-Hernández. E-mail: luis_garher@hotmail.com

© Universidad de la Salle-Bajío (México)

Resumen

El chile (*Capsicum annuum L.*) es uno de los principales cultivos hortícolas en México. Esto debido a su gran popularidad en la población. Dentro de esta especie, uno de los cultivares que más usos tiene es el chile ancho. Dado el escenario actual de crisis económicas y ambientales, los productores de este cultivo se han visto en la necesidad de suministrar una nutrición balanceada. El origen y la cantidad de fertilizantes pueden afectar drásticamente el patrón de crecimiento, su anatomía y morfología, así como su composición química y nutrimental y por ende su productividad en cuanto a cantidad y calidad del fruto. La optimización en el uso de fertilizantes puede lograrse por medio del establecimiento de normas nutrimentales con métodos multivariados como el Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto (DNC). El DNC se apoya en bases matemáticas robustas para un cultivo y región determinado. El objetivo del presente estudio fue estimar las normas nutrimentales preliminares e identificar las interacciones nutrimentales significativas mediante la técnica de diagnóstico de nutrimiento compuesto (DNC) para chile tipo ancho “San Martín” en la Comarca Lagunera durante el ciclo primavera-verano de 2015. Las normas preliminares de DNC fueron desarrolladas de una pequeña base de datos como medias y desviación estándar de la relación centrada de logaritmos (Vx) de cinco nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y un valor desconocido R, el cual comprende todos los nutrientes no analizados químicamente y cuantificados en chile ancho. Las normas preliminares de DNC son: $V^*_N = 0.42 \pm 0.06$, $V^*_P = -3.24 \pm 0.13$, $V^*_K = 0.48 \pm 0.08$, $V^*_{Ca} = -0.21 \pm 0.06$, $V^*_{Mg} = -0.82 \pm 0.05$, y $V^*_{R5} = 3.38 \pm 0.05$. Como resultado de este trabajo se presentaron dos interacciones negativas significativas a través del análisis de componentes principales: P y K para la subpoblación de alto rendimiento, mientras que en la población completa y la subpoblación de bajos rendimientos se encontró la interacción negativa P y Ca, lo cual nos sugiere casos de antagonismo P-K y P-Ca para este estudio.

Palabras clave: chile ancho, nutriamento, interacciones, altos rendimientos

Recepción: 13-06-2016

Aceptación: 28-08-2016

Abstract

Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) is one of the main vegetable crops in Mexico. This because its great popularity among the population. Within this species, one of the cultivars that have more uses is the type “ancho”. Given the current scenario of economic and environmental crisis, growers of this crop have the need of supplying a balanced nutrition. The source and amount of fertilizer may drastically affect growth pattern, anatomy and morphology, as well as chemical and nutritional composition and therefore productivity and quality of fruits. Optimization on the use of fertilizers may be achieved through the determination of nutrient norms with multivariate methods such as Compositional Nutrient Diagnosis (DNC). DNC is supported by robust mathematical basis for a crop and a specific region. The aim of this study was to estimate the preliminary nutritional norms and identify significant nutritional interactions through DNC for pepper type ancho “San Martín” in region “Comarca Lagunera” during the spring-summer season 2015. Preliminary norms DNC were developed from a small database as mean and standard deviation of the row-centered log ratios (Vx) of five nutrients (N, P, K, Ca, and Mg) and an unknown value R, which comprises all the nutrients not analyzed and quantified chemically in ancho pepper. DNC preliminary norms are $V^*_N = 0.42 \pm 0.06$, $V^*_P = -3.24 \pm 0.13$, $V^*_K = 0.48 \pm 0.08$, $V^*_Ca = -0.21 \pm 0.06$, $V^*_Mg = -0.82 \pm 0.05$, and $V^*_R = 3.38 \pm 0.05$. As result of this work, two significant negative interactions through principal component analysis were shown: P and K for high-yield population, while in the entire population and the low-yield population, negative interaction of P and Ca was found, which suggests cases of P-K and P-Ca antagonisms for this study.

Keywords: ancho pepper, nutrient, interaction, high yields.

Introducción

Desde hace más de tres décadas el género *Capsicum* ha sido considerado un cultivo de alta prioridad para los estudios de conservación (Albrecht *et al.*, 2012, 3). Esto, por su importancia económica y por la pérdida en alto grado de la variabilidad genética (Olivera y García, 2013, 58). El género *Capsicum* es nativo de Mesoamérica y su importancia se exalta por la gran cantidad de especies silvestres que todavía hoy se descubren (Rigon *et al.*, 2012, 228). De las más de 30 especies que han sido reportadas (González-Zamora *et al.*, 2013, 13472), la de mayor importancia económica es la especie *C. annuum* (Alonso *et al.*, 2008, 49). Esta especie es la más significativa para los mercados nacionales e internacionales de condimentos y conservas, y se cultiva en escalas que van desde la producción familiar a los sistemas industriales (Fonseca *et al.*, 2008, 190). *C. annuum* es la especie más utilizada en los programas de mejoramiento de cultivares comerciales (Wing *et al.*, 2013, 1).

México es centro de origen y también el país del mundo con la mayor variabilidad genética de *Capsicum* (García-Hernández *et al.*, 2004, 134). Su riqueza genética se debe en gran parte a la diversidad de climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores utilizando las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002, 26).

El chile es el octavo cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 722 millones de dólares. El volumen de producción promedio es de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones. Actualmente existen alrededor de 138 mil hectáreas en México. (FAOSTAT, 2012) debido a que la demanda del chile mexicano en el mercado internacional se ha incrementado (Caro *et al.*, 2014, 99).

En México se conocen cerca de 90 variedades o tipos de *C. annuum* (Schweiggert y Schieber, 2006, 239). Aunque sólo cerca de 30 dominan el mercado. El jalapeño participa con el 22.8% del valor de producción, bell pepper (15.4%), serrano (8.4%), seco mirasol (7.8%) y ancho (14.1%) (SIAP-SAGARPA, 2014). Dada su importancia económica, el presente trabajo considera un cultivar de chile ancho, el cual también recibe el nombre de poblano.

Para la producción comercial de chile se requiere que el productor administre y optimice sus recursos disponibles. Entre ellos, la mano de obra, el uso de fertilizantes y de insecticidas para el control de plagas del cultivo (Macías *et al.*, 2012, 33). Durante las últimas décadas se ha impulsado el enfoque de la fertilización balanceada (Ryan, 2008, 80), ya que el origen y la cantidad de fertilizantes pueden afectar drásticamente el patrón de crecimiento, anatomía y morfología, así como su composición química. Con el fin de conocer la nutrición en plantas en términos de su composición mineral, el análisis de tejido vegetal es más efectivo y confiable que el análisis de suelo (Ríos *et al.*, 2015, 202).

Se pueden usar varios métodos para diagnosticar el estado nutricional foliar: valor crítico (CVA) (Bates, 1971, 116), sistema de diagnóstico y recomendación integrado (DRIS) (Walworth y Sumner, 1987, 154) y diagnóstico del nutriente compuesto (DNC) (Parent y Dafir, 1992; Parent *et al.*, 1994, 240). 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, 802), chile (*Capsicum annuum*) (García-Hernández *et al.*, 2004, 510; Valdez-Cepeda *et al.*, 2005, 15), sábila (*Aloe vera*) (García-Hernández. *et al.*, 2006, 245) y maíz (*Zea mayz*) (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006, 225), entre otros cultivos. El método de DNC tiene una base matemática sólida para definir un valor mínimo de rendimiento útil para discriminar entre las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento (Alegre *et al.*, 2003, 532).

La técnica del método de diagnóstico nutrimental compuesto (DNC) fue desarrollada en Canadá por Parent y colaboradores (Parent y Dafir, 1992, 422; Parent *et al.*, 1994, 423). Involucra el cálculo de índices individuales para cada elemento, pero considera su proporción respecto a la media geométrica (g) de todos los nutrientes. También considera a R que representa el resto de los nutrientes no considerados en el análisis químico: R corresponde por ejemplo, a C, H y O, y es un parámetro más trascendente que el componente materia seca usado en el método DRIS. En la metodología del valor crítico se divide de manera arbitraria a las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, por lo general toman el 95% como la subpoblación de alto rendimiento, mientras que en el caso de DRIS y DNC, la población de altos rendimientos se selecciona de una base de datos. Con respecto al sistema DRIS no se ha establecido un procedimiento formal para dividir las observaciones en dos grupos: uno de altos rendimientos y otro de bajos rendimientos. En

cambio, esa partición se sustenta en la función de distribución de chi-cuadrada (X^2) de los índices de nutrición global y a la relación cúbica entre los rendimientos y las funciones de proporción de varianza acumulada en el caso de la técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto (Parent y Dafir, 1992, 239).

El objetivo del presente estudio fue estimar las normas nutrimentales preliminares e identificar las interacciones nutrimentales significativas mediante la técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) para chile tipo ancho “San Martín” en la Comarca Lagunera durante el ciclo primavera-verano de 2015.

Método

Establecimiento de cultivo y muestreo

El cultivo fue establecido en campo en el ejido Florencia, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, México, durante el ciclo primavera-verano de 2015. Este ejido, se ubica geográficamente en las coordenadas $25^{\circ}50'22.32''$ (latitud norte) y $103^{\circ}18'59.11''$ (longitud oeste) y a una altitud de 1,107 msnm. En esta región la temperatura media anual es de 22.1°C . La precipitación pluvial es de 258 mm y la evaporación anual media aproximadamente es 10 veces mayor. En dicha área los suelos son de aluvión, profundos y arcillosos (García-Hernández *et al.*, 2009, 142).

Antes de la siembra se tomaron 10 muestras de suelo en la capa de 0-30 cm del sitio experimental para determinar las características físicas y químicas de éste. El suelo es de tipo franco arcilloso de acuerdo al método Bouyoucos (1927, 39), alcalino y de baja salinidad. El contenido de MO fue de 1.1 % (método de Walckley y Black (Nelson y Somers, 1996, 961) pH 8.4 por el método de relación suelo: agua 1:2 (Thomas, 1996, 475) , CE 1.46 dS m^{-1} medida con un conductivímetro marca Horiba, modelo B173, 17 mg kg^{-1} de N total por el método de Kjeldahl (Bremmer 1996; 475); 14 mg kg^{-1} de fósforo total por el método de Olsen (Olsen *et al.*, 1954, 2), 1.30 meq L^{-1} de potasio; 5.4 meq L^{-1} de Ca y 6.8 meq L^{-1} de Mg (método de NH_4OA_c en una relación 1:20 (Thomas, 1996, 475)

El cultivar que se estableció fue chile tipo ancho “San Martín”. Se utilizó un arreglo espacial en bordos de doble hilera, acolchado plástico negro y riego por goteo. La distancia entre bordos fue de 1.80 m, mientras que entre planta y planta fue de 30 cm, para obtener una densidad de 37,000

plantas ha^{-1} . La nutrición se realizó con fertirriego aplicando 120 y 60 kg ha^{-1} de N y P, respectivamente (fosfato monoamónico y sulfato de amonio).

Las plagas y enfermedades que se presentaron fueron el picudo del chile (*Anthonomus euge-nii*) y cenicilla polvorienta (*Oidiopsis sp.*) y fueron controladas con los productos orgánicos Insecta Plus y PHC - Mil stop plus, respectivamente. Ambos son productos con certificado por OMRI (*Organic Materials Review Institute*).

Del total de la población, la muestra para el cálculo de las normas fue de 80 unidades de muestreo, correspondientes a dos plantas por unidad de muestreo. Se tomaron siete hojas de cada planta muestreada más otras siete de la planta contigua hacia el norte, teniendo un total de 14 hojas por unidad de muestreo. Las hojas obtenidas se eligieron del tercio medio de la planta, de plantas sanas en etapa de floración (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2005,30). De la misma forma se obtuvo el rendimiento de cada unidad de muestreo. El valor total de rendimiento se obtuvo sumando los rendimientos parciales de cinco cosechas o cortes. Los análisis químicos hechos con esas muestras se llevaron a cabo en los laboratorios analíticos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en La Paz, BCS.

Cada muestra foliar compuesta (mezcla de las 14 hojas en cada caso) fue limpiada con agua destilada, secada a peso constante y analizada para el total (en porcentaje) de N, P, K, Ca y Mg. El N total fue determinado por el método de Dummas. El fósforo fue analizado por el método de colorimetría con el complejo de azul de fosfomolibdato (AOAC, 1980, 5) K, Ca y Mg fueron estimados por espectrofotometría de absorción atómica, después de una digestión con HNO_3 (Hossner, 1996, 49).

Estimación de las normas preliminares

Las normas nutrimentales DNC se estimaron a partir del procedimiento teórico-matemático descrito por Khiari *et al.*, (2001,804), que se encuentra también descrito en otros reportes científicos posteriores (García-Hernández *et al.*, 2006, 245) y Magallanes-Quintanar *et al.*, (2004, 79) de la siguiente manera:

Las concentraciones de los nutrientes fueron transformadas a proporciones invariantes (centradas) al dividirlas por la media geométrica.

Posteriormente, se determinaron los logaritmos de las proporciones centradas:

$V_N, V_P, V_K, V_{Ca}, V_{Mg}, \dots, V_{Rd}$.

A su vez, estos 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 [$F^c_i (V_X)$] 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 discriminatoria 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 [$F^c_i (V_N), F^c_i (V_P), \dots, F^c_i (V_R)$] y el rendimiento.

Para identificar interacciones importantes se realizaron análisis de componentes principales con el programa Statistica Versión 9.1 (StatSoft Inc. 2010, 47).

Resultados

Los estimadores estadísticos descriptivos de la variable rendimiento presentaron los siguientes valores: media $44.89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mínimo $29.89 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, máximo $68.54 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y desviación estándar $8.28 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Normas de diagnóstico de nutrimento 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 49.27, 45.79, 49.25, 47.04, 44.29, 52.98 Mg·ha⁻¹ para N, P, K, Ca, Mg y R, respectivamente (Cuadro 1). Puesto que los índices globales de desbalance nutrimental (DNC r^2) se ajustan a una distribución χ^2 (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006, 2027), 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 se estima el valor crítico en la función de distribución acumulada de χ^2 , en este caso se eligió el rendimiento de 52.98 Mg ha⁻¹ asociado a la función cúbica que involucra a R. Tomando en cuenta este resultado, el 20 % de las observaciones constituyeron la subpoblación de alto rendimiento.

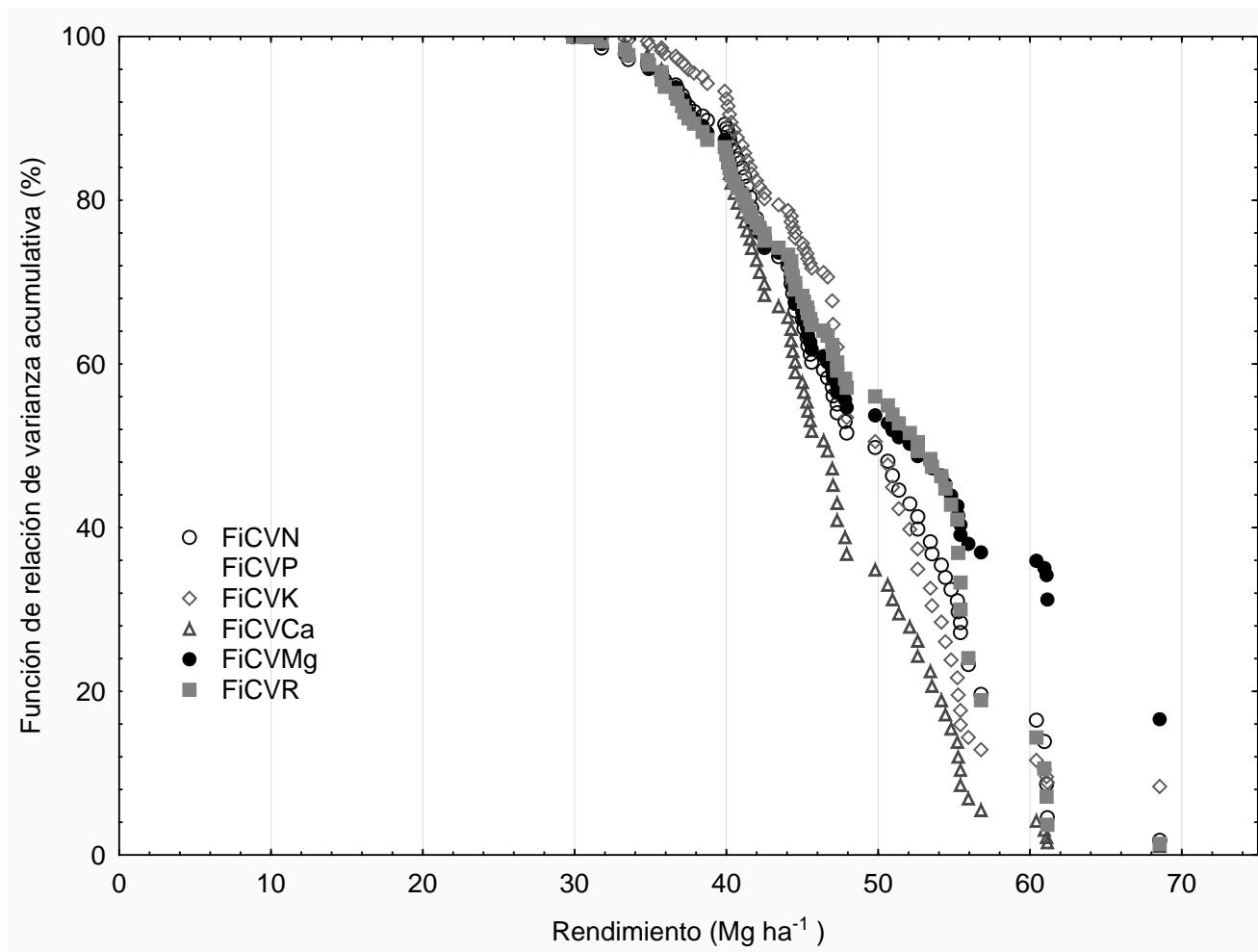


Figura 1. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento en chile ancho (*Capsicum annuum L.*) y las funciones de proporción de varianza acumulativa en el arreglo S⁵ para estimar el punto de inflexión que separa a las sub-poblaciones de alto y bajo rendimiento.

Cuadro 1. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión para cada función asociada a proporción de logaritmos centrados *versus* rendimiento en chile ancho (*Capsicum annuum L*) San Martín en la Comarca Lagunera en la población estudiada (n= 80).

Nutriente	$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	R ²	Rendimiento (Mg·ha ⁻¹) en los puntos de inflexión (-b/3a)
N	0.0037Y ³ - 0.5469Y ² + 22.912Y - 194.71	0.9912	49.27
P	0.0058Y ³ - 0.7969Y ² + 32.306Y - 304.53	0.9646	45.79
K	0.007Y ³ - 1.0344Y ² + 46.036Y - 543.61	0.9914	49.25
Ca	0.0062Y ³ - 0.8751Y ² + 36.225Y - 365.57	0.9929	47.04
Mg	0.0019Y ³ - 0.2525Y ² + 8.622Y + 22.907	0.9824	44.29
R	0.0017Y ³ - 0.2702Y ² + 11Y - 30.948	0.9790	52.98

En el Cuadro 2 se presentan las normas preliminares de DNC como medias y desviación estándar (V_x^* y DE V_x^* , respectivamente) para el chile ancho variedad San Martín en la localidad de estudio, así como los rangos de concentración óptima correspondientes a cada nutriente. En promedio la concentración foliar óptima para un rendimiento referenciado en un rendimiento mínimo de 52.98 y máximo de $68.54 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ fue de 4.53, 0.12, 4.78, 2.40, 1.30% de N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

Cuadro 2. Normas preliminares (Media V_x y DE de las V_x de DNC para $d = 5$ nutrientes y rangos de concentración óptimos (Media y desviación estándar, DE) en chile ancho (*C. annuum* cv. San Martín) en Florencia, municipio de Francisco I. Madero, Coah., con un rendimiento de referencia de $52.98 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Relaciones logarítmicas centradas	Media V_x	DE V_x	Nutriente	Media (%)	DE (%)
V_N^*	0.42	0.06	N	4.53	0.27
V_P^*	-3.24	0.13	P	0.12	0.02
V_K^*	0.48	0.08	K	4.78	0.33
V_{Ca}^*	-0.21	0.06	Ca	2.40	0.18
V_{Mg}^*	-0.82	0.05	Mg	1.30	0.10
$V_{R_5}^*$	3.38	0.05	R	86.87	0.55
$\sum V_x$	0	-			

Las normas preliminares de DNC identificadas fueron utilizadas para estimar los índices nutrimentales de DNC (I_N, I_P, \dots, I_R) y de desbalance (DNC r^2) para cada observación. Los datos de DNC r^2 se ajustaron significativamente ($R^2 > 0.999$; $p < 0.001$) a la función de distribución X^2 (Figura 2). El valor crítico de X^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, 808).

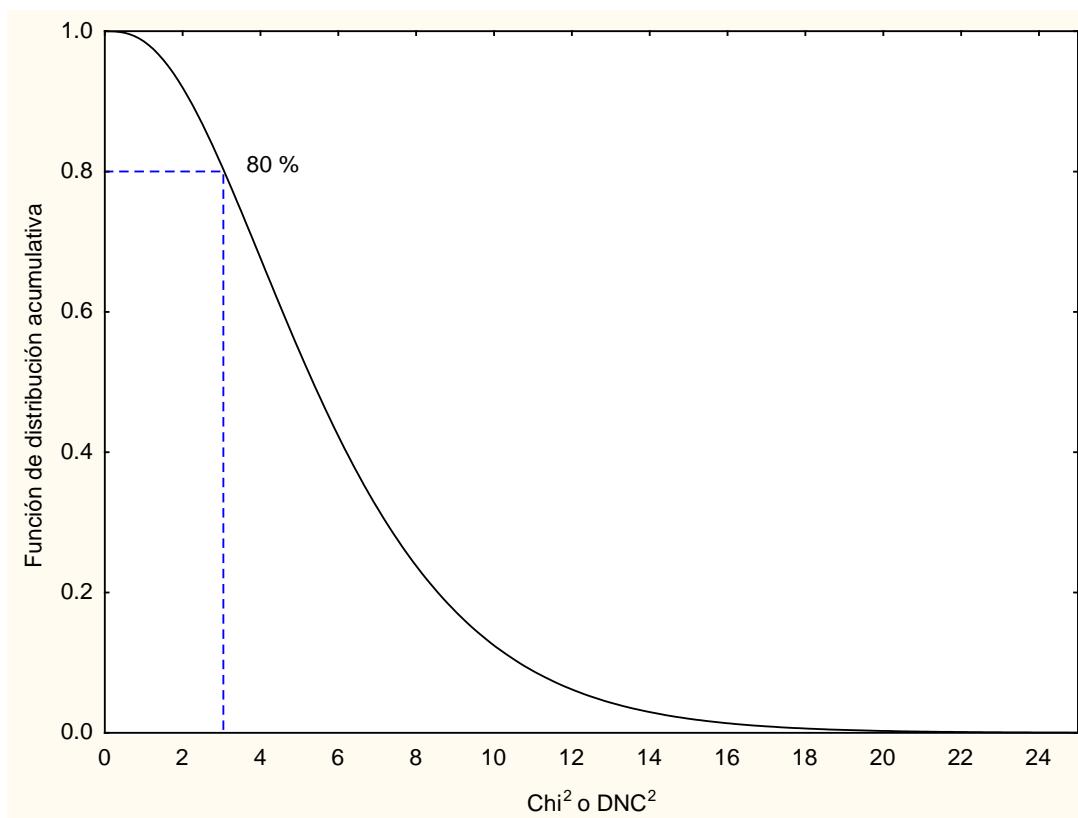


Figura 2. Función de distribución acumulativa de χ^2 con seis grados de libertad para obtener el valor crítico teórico (3.1) de DNC^2 en el arreglo S^5 asociado al 80 % de la población (subpoblación de bajo rendimiento).

Interacciones nutrimentales

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con los índices de DNC considerando tres casos: la base de datos completa (80 observaciones) y las subpoblaciones de alto (16 observaciones) y bajo rendimiento (64 observaciones). Los coeficientes de correlación significativos en el ACP fueron obtenidos de la forma sugerida por Gutiérrez-Acosta *et al.*, (2002,114) a través de la rotación de los componentes para maximizar la variación. En el primer caso (la población completa), un nivel de explicación de la varianza aceptable (79.7 %) del total se encontró en los tres primeros componentes principales (CP's) (Cuadro 3).

Por otro lado, en el caso de las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento, los primeros tres CP's explicaron el 81.42 y el 81.12 % de la varianza total, respectivamente.

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 IP y negativamente con Ca, lo cual sugiere la interacción de antagonismo entre P y Ca.

El segundo CP se correlaciona negativamente con *IMg* y positivamente con *IR*. Adicionalmente, el tercer CP se correlaciona negativamente con *IK*.

Para la sub-población de alto rendimiento (Cuadro 3), la estructura del CP1 está definida por *IP* e *IK*, correlacionados en forma negativa al igual que Mg se correlaciona en el CP3, mientras que *ICa* se correlaciona positivamente en el CP2.

Cuadro 3. Análisis de componentes principales tomando en cuenta los índices de DNC para la población completa (80 observaciones), y las subpoblaciones de alto (16 observaciones) y bajo rendimiento (64 observaciones) en chile ancho (*C. annuum* cv. San Martín) en Florencia, Coah.

	Base de datos completa			Subpoblación de alto rendimiento			Subpoblación de bajo rendimiento		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
<i>IN</i>	-0.484	0.593	0.205	0.423	-0.629	-0.047	-0.464	-0.659	0.016
<i>IP</i>	0.978	0.093	-0.074	-0.926	-0.222	0.254	0.986	0.009	0.030
<i>IK</i>	-0.501	-0.228	-0.801	0.841	0.269	0.098	-0.373	0.327	-0.833
<i>ICa</i>	-0.654	-0.488	0.339	0.454	0.757	0.235	-0.744	0.329	0.366
<i>IMg</i>	0.129	-0.701	0.545	-0.430	0.522	-0.712	-0.043	0.636	0.639
<i>IR</i>	-0.213	0.688	0.364	0.595	-0.480	-0.405	-0.105	-0.762	0.320
Var e	1.93	1.62	1.23	2.49	1.59	0.80	1.89	1.63	1.34
Propt	0.322	0.269	0.206	0.415	0.266	0.134	0.315	0.272	0.224

Valores en negritas son los dominantes en las cargas eigenvector en nivel de significancia > 0.65.

Var e = Varianza explicada.

Propt = Proporción del total.

En el caso de la sub-población de bajo rendimiento (Cuadro 3), la estructura del CP1 está definida por *IP* e *ICa*, correlacionados en forma negativa, lo cual sugiere un antagonismo entre P-Ca. Además en esta misma subpoblación se encontraron las correlaciones negativas con *IR* en el segundo CP y con *IK* en el tercer CP.

Discusión

Normas de diagnóstico de nutriente compuesto

Se comparó el DNC obtenido en el presente estudio con otros cultivos tomando en cuenta los mismos nutrientes analizados (N, P, K, Ca y Mg) como el 100% (García-Hernández *et al.*,

2004, 512 y Arroyo-Vargas *et al.*, 2013, 76). Los resultados indican que la concentración óptima en caso de los chiles, comprende en su mayoría al par de nutrientes N y K, los cuales juntos forman más del 50% de éstos. Por otro lado, tomando en cuenta los mismos nutrientes analizados en plantas cuyo objetivo comercial es su parte vegetativa como nopal (Váldez Cepeda *et al.*, 2013, 908) y sábila (García-Hernández *et al.*, 2006, 249) las concentraciones óptimas de nutrientes más altas son Ca y K, con 76% en ambos casos.

Tanto en plantas de chile que son para producción de fruto, como sábila y nopal que son para producción de biomasa se encuentra el K dentro de los nutrientes más abundantes y por lo tanto más requeridos. La razón por la cual existen por lo general altas concentraciones de K, es porque éste a diferencia de N y P, no es incorporado dentro de estructuras orgánicas y por lo tanto se encuentra en forma iónica en solución en la célula y actúa como un activador de muchas enzimas celulares (Njira y Nabwami, 2015, 9781). Es un ión que desempeña un papel fundamental en la osmorregulación celular y su deficiencia produce pérdida de turgencia y marchitamiento, más acentuado cuando hay déficit hídrico (Marschner, 2012, 211), además de que tiene una alta influencia en atributos de calidad como la formación de compuestos bioactivos (ácido ascórbico y betacaroteno) (Lester *et al.*, 2010, 119).

A diferencia de los rangos óptimos encontrados en chile güero (García-Hernández *et al.*, 2004, 512) que fueron 4.20-4.80, 0.30-0.35, 3.95-4.45, 2.53-2.87 y 0.65-0.72 porciento de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, en el presente estudio (Cuadro 2) el fósforo y el calcio presentaron una concentración menor, mientras que potasio y magnesio estuvieron presentes en mayor concentración. En chiltepín (García-Hernández *et al.*, 2007, 136) los rangos óptimos fueron de 3.4-4.1, 0.6-0.9, 5.0-5.6, 1.1-1.4 y 0.6-0.8 porciento de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Los resultados en chile morrón (Arroyo-Vargas *et al.*, 2013, 76) son los siguientes 4.27- 4.93, 0.38 – 0.47, 4.37- 5.57, 1.76- 2.22 y 0.60 – 0.72 porciento de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, notando que fósforo presenta un rango menor y calcio y magnesio una mayor concentración. Dicha tendencia coincide con los valores reportados en chile güero (García-Hernández *et al.*, 2004, 512). Cabe resaltar que el calcio tiene como función la regulación de la absorción de nitrógeno, participa en la traslocación de los carbohidratos y proteínas y actúa como mensajero entre factores ambientales y diferentes respuestas de las plantas en crecimiento y desarrollo

(Marschner, 2012, 209). Mientras que el magnesio, además de ser una parte integral de la clorofila, participa en la reacción de carboxylasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO₂. Así mismo es responsable de la regulación de pH y del ajuste de turgencia de las células de la planta (Ross, 2004, 100).

Las relaciones de equilibrio que deben guardar el Ca, Mg y K son esenciales para una buena asimilación de nutrientes en la planta y tienen una analogía estrecha con la cantidad de calcio cambiante en el suelo (Espinosa y Mite, 2002, 5).

Estos resultados ratifican que es importante llevar a cabo la validación de las normas que se establecen para una localidad con condiciones edafo-climáticas específicas.

Interacciones nutrimentales

Para la sub-población de alto rendimiento (Cuadro 3), la estructura del CP1 fue definida por IP e IK correlacionados en forma negativa, así entonces, se sugiere la interacción negativa entre P y K. Esta misma interacción aunque fisiológicamente aún no ha sido explicada, corrobora un posible antagonismo entre P y K, ya que ha sido encontrada anteriormente por García-Hernández (*et al.*, 2007, 138; 2009, 146) en el cultivo de chile (*Capsicum frutescens*) y nogal pecanero (*Carya illinoensis*) respectivamente; ambos con mismo tipo de suelos y condiciones agroecológicas similares.

Una completa comprensión de las interacciones nutrimentales es complicada actualmente, ya que éstas dependen de muchos factores tales como la concentración de nutrientes, temperatura, intensidad de luz, la aireación del suelo, la humedad del suelo, el pH del suelo, la arquitectura de la raíz, la tasa de transpiración de las plantas y la respiración, edad de la planta y la tasa de crecimiento, las especies de plantas y la concentración interna de nutrientes de las plantas (Fageria, 2005, 1271). Debido a esto, existen en ocasiones estudios contradictorios tales como Bossa (2005, 46) en maíz.

El antagonismo P-Ca ha sido ampliamente reportado por Parent *et al.*, (1994, 424) en papa, así como en *Aloe vera* (García-Hernández *et al.*, 2006, 249), entre otros. Este antagonismo puede deberse a que en este tipo de suelos desérticos calcáreos las altas concentraciones de carbonatos

de Ca retienen el P (Paul, 2007, 393), lo cual lo hace menos disponible para la planta, por lo tanto, a mayor concentración de Ca, menor concentración de P.

Conclusiones

Las normas preliminares de DNC tomando como referencia un rendimiento mayor a 52.98 Mg.ha⁻¹ fueron: V*N = 0.42 ± 0.06, V*P = -3.24 ± 0.13, V*K = 0.48 ± 0.08, V*Ca = -0.21 ± 0.06, V*Mg = -0.82 ± 0.05, y = 3.38 ± 0.05 y se asocian a una concentración foliar óptima de 4.53, 0.12, 4.78, 2.40 y 1.30 % de N(NO₃⁻ y NH₄⁺), P(H₂PO₄⁻ y HPO₄²⁻), K(K⁺), Ca(Ca²⁺) y Mg(Mg²⁺) respectivamente. De acuerdo a estos datos tenemos una subpoblación de alto rendimiento del 20% del total de la población, con rendimientos que van de 52.98 a 68.54 Mg.ha⁻¹ de chile ancho. Se presentaron dos interacciones negativas significativas a través de análisis de componentes principales: P y K para la subpoblación de alto rendimiento, mientras que en la población completa y la subpoblación de bajos rendimientos se encontró la interacción negativa P y Ca, lo cual nos sugiere casos de antagonismos P-K y P- Ca para este estudio.

Este tipo de estudio es muy importante ya que por medio de éste se pudo determinar las concentraciones óptimas específicas de macronutrientos para chile ancho (*Capsicum annuum L*) variedad San Martín establecido en campo en la comarca lagunera, dichas concentraciones varían entre cultivares y entre regiones. Además una vez que se tuvieron los datos cuantitativos se relacionaron con la función fisiológica o bioquímica que desempeñan dentro de la planta para poder interpretarlos. Aunado a esto el método ha probado ser de mayor confiabilidad o rigor científico comparado con el DRIS y el valor crítico.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, se sientan las bases para una fertilización balanceada, en la cual el productor aplicará la dosis necesaria para obtener un buen rendimiento, evitando con esto un gasto innecesario y sobretodo la contaminación en el suelo y el medio ambiente, que repercuten en la salud de los seres vivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero a través del proyecto SEP-CONACYT-CB 257808.

Referencias

- Albrecht, E., Zhang, D., Mays, A., Deslattes, S., Robert, A., Stommel, J. R. (2012). Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced by its ecogeographical distribution. *BMC Genetics*. 13: 1-11.
- Alegre, J., López, V., Dolores, E., Alonso, B. E., Nieves, Yébenes, L. (2003). Evaluating bearberry nitrogen nutrition using hydroponic cultures: establishing preliminary DRIS norms. *Journal of Plant Nutrition*. 26: 525-542.
- Alonso, R. A., Ponce, P., Quiroga, R., Rosales, M. A., Zuart, J. L., Moya, C., y Cabrera, A. (2008). Evaluación *in situ* de la variabilidad genética de los chiles silvestres (*Capsicum spp.*) en la región Frailesca del estado de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*. 29(2): 49-55.
- Arroyo-Vargas L, Tirado-Torres JL, Volke-Haller VH, Valdez-Cepeda RD (2013) Normas preliminares de diagnóstico de nutriente compuesto y correlaciones entre nutrientes y rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum L.*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16(1): 69-82.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1980). *Official Methods of Analysis*. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Bates, T. E. (1971). Factors affecting critical nutrient concentrations in plant and their evaluation, a review. *Soil Sciences*. 112: 116-130.
- Bossa, J. R, Shannon, D. A, Adams, J. F, Mullins, G. L y Santen, E. (2005). Phosphorus, potassium and leucaena pruning interactions on corn in Haiti. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73:37-47.
- Bouyoucos G. J, (1927) The hydrometer as a method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Bremmer, J. (1996). Nitrogen total. In: Spark, D.L.; A.L. Johnston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Analysis Part. 3. Chemical Methods (SSSA, Book Series No. 5)*.
- Caro, E. M., Leyva, M. C., Ríos S. J. (2014). Competitividad de la productividad mundial del chile de México. *Revista de Economía*. 31(83):95-128.
- Espinosa, J., Mite, F. (2002). Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. *Informaciones Agronómicas del Instituto de la Potasa y el Fósforo*. 48: 5-14.
- Fageria, V. D. (2005). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. 24(8):1269-1290.

- FAOSTAT-FAO. (2012). Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fonseca, R., Malveira, L. R., Silva B. W., Lopes, M. T. G., Medeiros, F. F. (2008). Morphologic characterization and genetic diversity of *Capsicum chinense Jacq.* accessions along the upper Rio Negro–Amazonas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 81(3): 187-197.
- García-Hernández, J. L., Valdez-Cepeda, R. D., Murillo, B., Nieto, A., Beltrán, L. F., Magallanes, R., Troyo, E. (2004). Compositional 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., Murillo, B., Beltrán, F. A., Ruiz, F. H., Orona, I., Flores, A., Troyo, 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, R., Troyo, E., Murillo, B., Rueda, E. O., Rodríguez, J. C., Magallanes, R. (2007). Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutriente compuesto en una variedad semidomesticada de *Capsicum frutescens*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 133-140.
- García-Hernández, J. L., Orona, I., González, G., Valdez-Cepeda, R. D., Murillo, B., Troyo-Diéquez, E., Fortis, M., Segura, M. A. (2009). Nutrient interactions and compositional nutrient diagnosis norms in pecan tree (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo-Serie Horticultura*. 15(2): 141-147.
- González-Zamora, A., Sierra, E., Luna, J. G., Pérez, R., Rodríguez, J. C., García-Hernández, J. L. (2013). Characterization of different *Capsicum* varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. *Molecules*. 18: 13471-13486.
- Gutierrez, A. F., Valdez, C. R. D., Blanco, M. F. (2002). Multivariate analysis of cactus pear (*Opuntia spp.*) fruits from a germoplasm collection. *Acta Horticulturae*. 581: 111-118.
- Hossner, L. R. (1996). Dissolution for Total Elemental Analysis. In: Spark, D.L.; A.L. Johnston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Analysis Part. 3. Chemical Methods (SSSA, Book Series No. 5)*.

- Khiari, L., Parent, É. L., Tremblay, N. (2001). Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal*. 93: 802-808.
- Latournerie, M. L., Chávez, J. L., Pérez, M., Castañon, G., Rodríguez, H. S. A., Arias L. M., Ramírez, V. P. (2002). Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25: 25-33.
- Lester, G. E, Jifon, J. L. y Makus, D. J. (2010). Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. *Plant and Soil*. 335(1): 117-131.
- Macías, R., Grijalva, R. L., Robles, F. (2012). Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Bioteconomía*. 14(3): 32-38.
- Magallanes, Q. R., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco, F., Márquez, M. R., Ruíz, R., Pérez, O. García-Hernández, J. L., Murillo, B., López, M. J. D. (2004). Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of Professional Association for Cactus Development*. 6:78-89.
- Magallanes-Quintanar, R. (2005). Generación de normas preliminares mediante la técnica de diagnóstico de nutriente compuesto en la nutrición vegetal. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Zacatecas. El Cordovel, Enrique Estrada, Zacatecas. Pp. 139.
- Magallanes, Q. R., Valdez-Cepeda, R. D., Olivares, E., Pérez, O., García-Hernández, J. L., López, M. J. D. (2006). Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2019-2033.
- Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Edited by. Elsevier, London, UK. 651 pp.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. (1996). Total carbon, organic matter. In: Spark, D.L.; A.L. Johnston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Analysis Part. 3. Chemical Methods* (SSSA, Book Series No. 5).
- Njira, K. O. W. and Nabwami, J. (2015). A review of effects of nutrient elements on crop quality. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 15(1):9777-9793.
- Olivera, M., García-Yi, J. (2013). Promoción de la conservación de la biodiversidad mediante el aumento de la demanda interna de ajíes nativos en Bolivia. *Avances en Investigación. Agropecuaria*. 17: 57-63.

- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. Circular 939. U.S. Washington, D. C. Pp. 1-18.
- Parent, E. L., Dafir, M. (1992). A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(2): 239-242.
- Parent, E. L., Dafir, M., Tremblay, N., Karam, A. (1994). Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 119(3): 420-426.
- Paul, E. A. (2007). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Third edition. Elsevier. Pp. 391- 400.
- Rigon, A., Leonardi, B., Miron, D., Rodrigues, J., Gosmann, G. (2012). Antioxidant and anti-inflammatory properties of *Capsicum baccatum*: from traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*. 139(1): 228-233.
- Rios-Plaza, J. L., García-Hernández, J. L., Cano P.; Valdez-Cepeda R. D., Preciado, P. (2015). Importancia del análisis foliar y su relación al diagnóstico nutrimental de los cultivos. En nutrición mineral de las plantas, agricultura sustentable y protegida. NUVE. Granada, España. pp. 200-230.
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Palmas*. 25(2): 98-104.
- Ryan, J. (2008). A perspective on balanced fertilization in the Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32(2): 79-89.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)-SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2014). México. Página web: <http://siap.gob.mx>.
- Schweiggert, U., Carle, R., Schieber A. (2006). Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens L.*) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 557(1): 236-244.
- StatSoft, Inc. (2010). *Statistica for Windows* (Computer Program Manual). StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104.
- Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L.; A.L. page; P.A. Helmke; R.H. Loepert; pH Soltanpour; M.A. tabatabai; C.T. Jonston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Soils Analysis*. Part. 3. Chemical Methods (SSSA, Book Series No.5).

- Váldez-Cepeda, R. D., Magallanes, R. Rubio, S., García-Hernández, J. L., Murillo, B., Troyo, E., Diéguez, Enrique, Blanco, F. (2005). Normas nutrimentales DNC para chile (*Capsicum annuum*) tipo 'mirasol' seco. pp. 150-157. In: Second World Pepper Convention. Zacatecas, México.
- Váldez-Cepeda R. D.; Rafael Magallanes-Quintanar ; Fidel Blanco-Macías ; Edwin A. Hernández-Caraballo; José Luis García-Hernández.(2013). Comparison among Boltzmann and Cubic Polynomial Models for Estimation of Compositional Nutrient Diagnosis Standards: *Opuntia ficus indica L.* Case. *Journal of Plant Nutrition.* 36:6: 895-910.
- Walworth, J. L., Sumner, M. E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In Advances in soil science (pp. 149-188). Springer New York.
- Wing, Y. L., Won, H. K., Byoung C. K. (2013). Genetics, genomics and breeding of peppers and eggplant. Editorial CRC Press Taylor and Francis group.