



**NORMAS PRELIMINARES DE DIAGNÓSTICO DE NUTRIMENTO
COMPUESTO Y CORRELACIONES ENTRE NUTRIMENTOS Y
RENDIMIENTO EN PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.)**

**[PRELIMINARY COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS NORMS
AND CORRELATIONS AMONG NUTRIENTS AND YIELD IN PEPPER
(*Capsicum annuum* L.)]**

**L. Arroyo-Vargas¹, J. L. Tirado-Torres¹, V. H. Volke-Haller¹,
and R. D. Valdez-Cepeda^{2,3*};**

¹*Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO*

²*Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Apartado Postal 196. Zacatecas, Zacatecas. C. P. 98001. MÉXICO*

³*Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Matemáticas. Calzada Solidaridad Esq. Carretera a La Bufa. Zacatecas, Zacatecas. C.P. 98060. MÉXICO*
E-mail: vacrida@hotmail.com, vacrida@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Pepper is one of the most important crops in Mexico. It is known that healthy plants may resist in a better way to pests and diseases. Thus, balanced nutrient quantity must be provided to the plants. In this context, it is important to account with nutrient norms and to be able to perform correct nutrient diagnosis. Therefore, the aims of this study were to determine compositional nutrient diagnosis (CND) standards and to identify important correlations between nutrients and between nutrients and yield. Thus, one experiment under greenhouse conditions was carried out taking into account three concentration levels of the Steiner nutrient solution. Fruit fresh matter was considered as yield when three cuts were performed. Tissues (mature leaves) from plants were sampled to quantify nutrient (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu and Mn) concentrations. CND norms were computed using such a database. Pearson correlations were computed in order to identify those significant. Row-centered log ratios (CND norms, mean \pm 1 standard deviation) for $d = 8$ nutrients under the basis of high-yield subpopulation ($n = 19$, yield > 1333.33 g Plant⁻¹) are: $V_N^* = 2.51 \pm 0.17$, $V_P^* = 0.09 \pm 0.14$, $V_K^* = 2.57 \pm 0.25$, $V_{Ca}^* = 1.66 \pm 0.16$, $V_{Mg}^* = 0.56 \pm 0.13$, $V_{Fe}^* = -3.76 \pm 0.11$, $V_{Cu}^* = -5.96 \pm 0.25$, $V_{Mn}^* = -3.13 \pm 0.14$ y $V_{R_8}^* = 5.46 \pm 0.12$. And their corresponding sufficiency ranges (mean \pm 1 standard deviation, g Kg⁻¹) are: 45.88 ± 6.64 for N, 4.16 ± 0.96 for P, 49.69 ± 12.2 for K, 19.98 ± 4.65 for Ca, 6.59 ± 1.21 for Mg, 0.09 ± 0.01 fore Fe, 0.01 ± 0.003 for Cu and 0.16 ± 0.04 fore Mn. Yield depended significantly ($p \leq 0.05$)

on P concentration, in a negative way. However, it appears N was the most limiting nutrient under greenhouse conditions. Optimum N concentration was at a different level when compared with that of the same species grown under field conditions.

Key words: *Capsicum annum* L.; Greenhouse; Steiner nutrient solution.

RESUMEN

El chile es uno de los principales cultivos hortícolas en México. Es sabido que plantas sanas resisten mejor el ataque de plagas y enfermedades. La sanidad, entonces, depende en gran medida de una nutrición balanceada. En este contexto un buen diagnóstico nutricional es primordial. Este estudio fue desarrollado para determinar las normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) e identificar correlaciones importantes entre nutrimentos y rendimiento en pimiento. Para ello, un experimento se estableció en condiciones de invernadero y tres concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. El rendimiento de fruto fresco fue registrado al realizar tres cortes. En muestras de tejido vegetal (hojas maduras) se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn. Las normas preliminares con la técnica DNC se determinaron al considerar esa base de datos. Las correlaciones significativas se identificaron a través del análisis de los coeficientes de Pearson. Las normas preliminares de DNC propuestas y expresadas como logaritmos de las proporciones centradas (media \pm desviación estándar) para $d = 8$ nutrimentos con base en una subpoblación ($n = 19$) de alto rendimiento (> 1333.33 g Planta⁻¹ de pimiento fresco

en invernadero) son: $V_N^* = 2.51 \pm 0.17$, $V_P^* = 0.09 \pm 0.14$, $V_K^* = 2.57 \pm 0.25$, $V_{Ca}^* = 1.66 \pm 0.16$, $V_{Mg}^* = 0.56 \pm 0.13$, $V_{Fe}^* = -3.76 \pm 0.11$, $V_{Cu}^* = -5.96 \pm 0.25$, $V_{Mn}^* = -3.13 \pm 0.14$ y $V_{R_s}^* = 5.46 \pm 0.12$. Estas normas corresponden a los siguientes rangos (media \pm desviación estándar en $g\ Kg^{-1}$) de concentraciones óptimas en tejido vegetal de pimiento: 45.88 ± 6.64 de N, 4.16 ± 0.96 de P, 49.69 ± 12.2 de K, 19.98 ± 4.65 de Ca, 6.59 ± 1.21 de Mg, 0.09 ± 0.01 de Fe, 0.01 ± 0.003 de Cu y 0.16 ± 0.04 de Mn. El

INTRODUCCION

En el año 2008, México ocupó el segundo sitio en la producción de chile a nivel mundial después de China. El chile es uno de los principales cultivos hortícolas en México y de gran consumo por la población. La importancia del chile en la economía nacional radica en que es el décimo producto agrícola en cuanto al valor de la producción, siendo de 709,148 miles de pesos con 2,055 miles de toneladas, obtenidas de 133, 000 ha cosechadas con un rendimiento medio de $15.5\ ton\ ha^{-1}$ (FAO, 2011). Su importancia social reside en el hecho de ser un cultivo intensivo que requiere de 200 a 350 jornales por hectárea (CNPCh, SC, 2010).

En México, los tipos chile de mayor importancia son: ancho (*C. annum*); jalapeño (*C. annum*); serrano (*C. annum*); mirasol, conocido como guajillo en seco (*C. annum*); chilaca, llamado negro o pasilla en seco (*C. annum*); piquín (*C. chinense*); habanero (*C. chinense*); manzano (*C. pubescens*) y pimiento o campana (*C. annum*) (Long *et al.*, 1998, Morán-Bañuelos *et al.*, 2008). El pimiento se destina al consumo en fresco en el país, pero la mayor parte es exportada a los Estados Unidos de América. La producción de chile en fresco osciló de 1,734 a 2,055 miles de toneladas del año 2000 al 2008, respectivamente (SAGARPA, 2010).

Dada la importancia del cultivo del pimiento han surgido nuevas tecnologías para su producción con el propósito de incrementar el rendimiento y calidad de los frutos. Para cumplir estos objetivos es importante tener plantas bien nutridas y sanas. La nutrición del cultivo es uno de los aspectos de mayor importancia, debido a que una planta a la que se le han proporcionado los nutrientes esenciales en forma balanceada puede ser más tolerante a las enfermedades y a organismos patógenos (Velasco, 1999). El entendimiento de los mecanismos que contribuyen a la absorción, transporte, síntesis y

rendimiento es dependiente de manera negativa y significativa ($p \leq 0.05$) de la concentración de P. Sin embargo, el N parece ser el nutriente más limitante de la producción de pimiento en invernadero. El pimiento mostró una concentración de N óptima diferente en condiciones de invernadero con respecto a la reportada para sistemas de producción en campo.

Palabras clave: *Capsicum annum* L.; Invernadero; Solución nutritiva Steiner

acumulación de nutrientes en las plantas de chile en diversos ambientes es esencial para mejorar su estado nutricional, en términos de composición y concentración de nutrientes (Marschner, 1995). Al respecto, existen varios métodos de diagnóstico del estado nutricional de la planta como son: Valor Crítico, VC (Bates, 1971), Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, SIDR (Walworth y Sumner, 1987) y Diagnóstico de Nutriente Compuesto, DNC (Parent y Dafir, 1992).

En el caso de la técnica SIDR no se ha establecido un procedimiento formal para dividir el total de las observaciones en dos grupos: uno de altos rendimientos y otro de bajos rendimientos. Esa división se contempla en la técnica de DNC al considerar la relación cúbica entre el rendimiento y cada una de las funciones de proporción de varianza acumulada (Parent y Dafir, 1992), es decir, usa relaciones con respecto a la composición total ya que se considera un nutriente (R) que representa al resto de los elementos no contemplados en el análisis y define un punto mínimo de rendimiento a partir del cual se definen las subpoblaciones de alto y bajo rendimiento. Khiari *et al.* (2001b) demostraron que los índices nutricionales estimados con la metodología de DNC se distribuyen simétricamente con respecto a un valor nulo de balance nutricional y también se correlacionan mejor con el rendimiento en comparación con los estimados a través de las técnicas SIDR y VC.

El método de DNC se ha aplicado en los tipos de chile 'güero' (García-Hernández *et al.*, 2004) y 'mirasol' (Valdez-Cepeda *et al.*, 2005) de *C. annum* y en chile de árbol (*C. frutescens* L.) que está en proceso de domesticación y mejoramiento debido a sus sobresalientes características físicas y bioquímicas y su gran tolerancia a condiciones de sequía y salinidad (García-Hernández *et al.*, 2007). Además, se ha aplicado a otros cultivos como:

Solanum tuberosum L., papa (Khiari *et al.*, 2001); *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., nopal (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2005; Blanco-Macías *et al.*, 2006); *Vigna unguiculata* (L.) Walp., frijol cowpea (García-Hernández *et al.*, 2005); *Aloe vera* L., sábila (García-Hernández *et al.*, 2006); *Zea mays* L., maíz (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006); y *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, nogal pecanero (García-Hernández *et al.*, 2009). Con base en estos antecedentes, se considera que el método de DNC es apropiado para diagnosticar el estado nutrimental de las plantas cultivadas. De lo anterior se derivaron los siguientes objetivos: i) generar normas preliminares, para macro y micronutrientes, mediante la técnica de DNC con base en altos rendimientos de pimiento, y ii) identificar correlaciones significativas entre nutrientes, así como entre nutrientes y el rendimiento del pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del Experimento

El estudio se estableció en un invernadero de Edafología, en el área de Nutrición Vegetal, del Colegio de Postgraduados, ubicado en el Km 35.5, Carretera México- Texcoco, Montecillos, Texcoco, México. Dicha infraestructura se encuentra a una latitud de 19° 29' norte, longitud 98° 54' oeste y una altitud de 2250 msnm.

El material genético que se utilizó fue un híbrido comercial de la especie *C. annuum* variedad 'Triple 4', de la casa productora Enza-Zaden. Dicho material genético es ampliamente adaptable a condiciones de invernadero; la planta es compacta y vigorosa con altos rendimientos; sus frutos se caracterizan por tener cuatro lóbulos, tamaño uniforme y maduración en color rojo.

Las semillas de pimiento germinaron en charolas de 128 cavidades, utilizando una mezcla de turba y vermiculita como sustrato. Las plántulas crecieron durante 40 días. Después, 144 plántulas sanas fueron seleccionadas para llevarlas a transplante en bolsas de 40 x 40 cm. Como sustrato se usó roca de origen volcánico conocida como tezontle. El sustrato se desinfectó, previamente, con hipoclorito de sodio (1%). Las 144 bolsas se distribuyeron en doble hilera de 18 cada una, a una distancia de 0.4 m entre bolsas. Entre cada dos hileras se colocó una línea de riego. La distancia entre líneas de riego fue de 1.2 m. El sistema de riego se diseñó para suministrar 2 L por día por planta, distribuidos en ocho eventos de cinco minutos cada uno.

Diseño experimental

Se tuvo un solo factor, siendo éste la solución nutritiva de Steiner (1984) con tres diferentes niveles de concentración: 50, 100 y 150%. El diseño experimental fue un arreglo en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental constó de 12 plantas. Pero con el objetivo de estimar las normas nutrimentales, todas las plantas se muestrearon y analizaron de manera individual.

Mantenimiento del experimento

Dentro del invernadero, las temperaturas máxima y mínima diaria fueron 31.2 y 2.9 °C, respectivamente; mientras que las humedades relativa máxima y mínima diaria fueron 91.8 y 19.7%, respectivamente.

Durante el crecimiento de las plantas se presentaron problemas de plagas, principalmente mosquita blanca (*Bemisia tabaco* Gennadius) y trips (*Thrips tabaci* Lind.). Para su control se hicieron aplicaciones de los insecticidas Overón a razón de 1 ml L⁻¹, Plenum a 0.5 g L⁻¹ y Ambush a 1 ml L⁻¹. También se presentaron problemas de cenicilla polvorienta (*Oidiopsis* sp.), pero se controlaron con aplicaciones periódicas de fungicidas como Manzeb a 5.5 g L⁻¹ y Sulfocop-f a 1 ml L⁻¹. Los daños asociados a la incidencia de esas plagas fueron mínimos y se consideró que no afectaron los resultados.

Muestreo de tejido vegetal y análisis químico

Las muestras foliares se colectaron durante la etapa de floración. De dos a tres hojas recientemente maduras se colectaron de cada planta con base en el procedimiento indicado por Jones *et al.* (1991). Cada muestra se limpió con agua destilada y se deshidrató hasta peso constante para posteriormente ser molida, digerida y analizada.

En el caso del N, la digestión del material se realizó con una mezcla de los ácidos perclórico y salicílico. La estimación de su concentración se hizo con el método de Kjeldahl (Bremner, 1965). Para la determinación de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre y manganeso, las muestras se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de H₂SO₄, HNO₃ y HClO₄ (Jones *et al.*, 1991). Los elementos se determinaron mediante espectrofotometría AES-ICP con un equipo Varian, Liberty II (Alcántar y Sandoval, 1999).

Estimación del rendimiento

La cosecha se realizó en tres cortes de fruto fresco para evaluar el rendimiento de cada planta en gramo de fruto fresco cosechado. Los cortes se hicieron durante los primeros 150 días de establecido el experimento. El rendimiento total (la suma de los tres cortes) de cada planta se relacionó con las concentraciones de los nutrimentos para estimar las normas preliminares con el método de Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto. Se consideran normas preliminares porque para la obtención de una norma como tal se debe de ampliar la base de datos, realizando experimentos en varias localidades y uniformizando el manejo agronómico en dichos estudios.

Estimación de las normas preliminares

Las normas nutrimentales DNC se estimaron a partir del procedimiento teórico-matemático descrito por Khiari *et al.* (2001a), García-Hernández *et al.* (2004; 2005; 2006), Magallanes-Quinatnar *et al.* (2005; 2006) y Blanco-Macías *et al.* (2006), así como se describe enseguida.

Se considera que la composición del tejido vegetal forma un arreglo d dimensional (S^d) de nutrimentos, es decir, el tejido está compuesto de d nutrimentos y un valor o nutrimento de relleno que representa los nutrimentos no determinados químicamente:

$$S^d = [(N, P, K, \dots, R_d): N>0, P>0, K>0, \dots, R_d>0, N + P + K + \dots + R_d = 100] \quad (1)$$

Donde 100 es la cantidad de materia seca (%); N, P, K,... son las proporciones de nutrimentos y R_d es el nutrimento de relleno cuyo valor es dado por la diferencia entre 100% y la suma de las d proporciones de nutrimentos estimado mediante:

$$R_d = 100 - (N + P + K + \dots) \quad (2)$$

Esas proporciones se hicieron invariantes en escala después de que se dividieron por la media geométrica, G:

$$G = [N \times P \times K \times \dots \times R_d]^{1/d+1} \quad (3)$$

Posteriormente, se determinaron los logaritmos naturales de las proporciones centradas para cada observación:

$$V_N = \ln\left(\frac{N}{G}\right), V_P = \ln\left(\frac{P}{G}\right), V_K = \ln\left(\frac{K}{G}\right), \dots, V_{R_d} = \ln\left(\frac{R_d}{G}\right) \quad (4)$$

De manera que

$$V_N + V_P + V_K + V_{Ca} + V_{Mg} + \dots + V_{R_d} = 0 \quad (5)$$

Dónde: V_X es la expresión del logaritmo natural de la proporción centrada para el nutrimento X. Ésta operación permitió asegurar que las estimaciones se hicieron correctamente. Estas expresiones son proporciones múltiples, pues involucran a todos los nutrimentos considerados y el complemento o relleno es considerado como tal.

Por definición, la suma de los componentes (nutrimentos) de un tejido es 100% (Ecuación 1) y la suma de los logaritmos de las proporciones centradas de los d nutrimentos y del relleno R_d debe ser cero (Ecuación 5).

Selección de la subpoblación de alto rendimiento

Para estimar el punto de inflexión se siguieron los siguientes pasos:

a) Las observaciones se ordenaron al considerar el rendimiento en orden decreciente. Cada observación consiste de las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn (expresadas en % con base en materia seca) y rendimiento ($g \text{ Planta}^{-1}$) provenientes del experimento.

b) Los logaritmos naturales de las proporciones centradas de los nutrimentos se estimaron al usar las Ecuaciones 2, 3 y 4.

c) El procedimiento iterativo de Cate-Nelson se usó para dividir la población, partiendo de que la primera subpoblación de altos rendimientos consistirá de las dos primeras observaciones y las restantes conformarán la de bajo rendimiento; después, las tres primeras se considerarán de rendimiento alto y el resto de rendimiento bajo. El procedimiento se repitió hasta que las dos observaciones de menor rendimiento formaron un grupo y el resto el otro.

d) Para cada subpoblación obtenida según el paso anterior se estimó la varianza de los V_X . Ello permitió estimar la proporción de varianza para el componente X, $f_i(V_X)$:

$$f_i(V_X) = \frac{\text{Varianza de } V_X \text{ } n_1 \text{ observaciones}}{\text{Varianza de } V_X \text{ } n_2 \text{ observaciones}} \quad (6)$$

Donde $f_i(V_X)$ es la función de proporción entre las dos subpoblaciones en la i ésima iteración ($i = n_1 - 1$) y V_X es la expresión del logaritmo natural de la proporción centrada DNC para el nutrimento X.

e) La función de proporción de varianza acumulada se estimó al considerar que es la suma de las proporciones de varianza en la i -ésima iteración desde el principio. La función de proporción de varianza acumulada para una iteración dada se estimó como la proporción de la suma total de proporciones de varianza de todas las iteraciones para comparar la fuerza discriminadora de los V_X entre bajos y altos rendimientos sobre una escala común. La función de proporción de varianza acumulada se estimó con la siguiente fórmula:

$$F_i^C(V_X) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_1-1} f_i(V_X)}{\sum_{i=1}^{n_1-3} f_i(V_X)} \right] [100] \quad (7)$$

Donde n_1-1 es el número de partición y n es el número total de observaciones ($n_1 + n_2$). El denominador es la suma de proporciones de todas las iteraciones y, por lo tanto, es una constante para el componente X.

f) Entonces, cada función de proporción de varianza acumulada $F_i^C(V_X)$ se relacionó con el rendimiento Y mediante un patrón cúbico:

$$Sd = [(N, P, K, \dots, Rd): N>0, P>0, K>0, \dots, Rd>0, N + P + K + \dots + Rd = 100]. \quad (8)$$

$$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d$$

g) Dado que el punto de inflexión es aquel donde el modelo muestra un cambio en concavidad, éste se estimó al obtener la segunda derivada de la Ecuación 8:

$$\frac{\partial F_i^C(V_X)}{\partial Y} = 3aY^2 + 2bY + C \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 F_i^C(V_X)}{\partial Y^2} = 6aY + 2b \quad (10)$$

Al igualar a cero se obtuvieron los valores de los puntos de inflexión ($-b/3a$):

$$Y = -b/3a \quad (11)$$

El valor límite de rendimiento mayor de todas las expresiones de los nutrientes fue seleccionado para dividir a la población en subpoblaciones de alto y bajo rendimiento para asegurar que el rendimiento mínimo asociado a una subpoblación de alto rendimiento sea clasificado como un rendimiento alto para cualquier expresión nutricional.

Interacciones nutrimentales

Para la identificación de las interacciones entre los nutrientes analizados en el tejido vegetal y su relación con el rendimiento del cultivo en peso fresco de fruto se estimaron coeficientes de correlación de Pearson. Este coeficiente varía de -1 a $+1$, de manera que valores positivos significativos sugieren relaciones sinérgicas (sinergismos), mientras que valores negativos significativos implican relaciones inversas (antagonismos), cuando se analiza la relación entre pares de nutrientes; mientras que cuando se relaciona algún nutriente con el rendimiento, es posible evidenciar dependencia de éste con respecto al nutriente del caso.

Para la generación de las normas preliminares se utilizó el programa Microsoft Excel 2007 Software (Microsoft Corp., 2007), mientras que para el cálculo de los coeficientes de Pearson se usó el programa Statistica, versión 6 (StatSoft Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadística descriptiva

Los estimadores estadísticos descriptivos de las variables rendimiento y concentraciones nutrimentales se presentan en el Tabla 1. Las medias de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn fueron 45.52, 4.45, 48.51, 20.37, 6.77, 0.09, 0.01 y 0.18 $g\ kg^{-1}$, respectivamente, mientras que la de rendimiento fue 969 $g\ Pl^{-1}$. Todas las variables presentaron una variabilidad relativa grande ($CV > 25\%$), excepto la concentración de N ($CV = 13.28\%$). Por consiguiente, la base de datos puede ser utilizada para generar normas nutrimentales (Blanco-Macías *et al.*, 2010).

Normas de diagnóstico nutricional compuesto

Los nueve modelos experimentales (Figura 1), entre cada función de proporción de varianza acumulada $F_i^C(V_N), F_i^C(V_P), F_i^C(V_K), \dots, F_i^C(V_R)$ y el rendimiento, se ajustaron bien a modelos cúbicos, como se muestra en el Tabla 6 mediante el coeficiente de determinación ($R^2 > 0.97$). Los rendimientos asociados a los puntos de inflexión fueron 1250, 1333.33, 1111.11, 1111.11, 1111.11, 2222.22, 1111.11, 1000 y 1111.11 $g\ Planta^{-1}$ para N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn, respectivamente (Tabla 2). Los índices globales de desbalance nutricional (DNC r^2) se ajustan bien a una distribución acumulada de χ^2 (Figura 2) (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006); entonces, como la teoría del método indica, es recomendable considerar al valor de rendimiento mayor para ser usado como referencia con el fin de separar a las observaciones en dos subpoblaciones,

una de alto y otra de bajo rendimiento. En el presente caso, el valor crítico que se decidió tomar como rendimiento de referencia fue 1333.33 g Planta⁻¹, asociado al punto de inflexión del modelo cúbico ajustado correspondiente al P.

Al elegir 1333.33 g Planta⁻¹ como el rendimiento de referencia, la subpoblación de alto rendimiento consta de 19 observaciones que equivalen al 13.2% de la población, mientras que la subpoblación de bajo rendimiento contempla a 125 observaciones que corresponden al 86.8% de la población.

Las normas preliminares de DNC expresadas como medias y desviaciones estándar de las proporciones de varianza (V_X^* y SD_X^* , respectivamente) en el cultivo de pimiento, así como los rangos de concentración nutrimental óptima para cada elemento se aprecian en el Tabla 3.

Las concentraciones óptimas para macronutrientos en *C. annuum* (Tabla 4) en floración (Hochmuth, 1997) y en primera fructificación (Piggot, 1986) han sido reportadas.

Tabla 1. Estimadores estadísticos descriptivos de las variables rendimiento y concentraciones nutrimentales en tejido vegetal de pimiento (n = 144).

Variable	Media	Desviación estándar	CV	Mínimo	Máximo
Rendimiento (g Planta ⁻¹)	969.02	319.99	33.02	177.80	1922.66
N (g kg ⁻¹)	45.52	6.04	13.28	20.62	87.65
P (g kg ⁻¹)	4.45	1.43	32.04	1.82	10.50
K (g kg ⁻¹)	48.51	13.52	27.89	19.39	84.11
Ca (g kg ⁻¹)	20.37	5.81	28.53	8.20	35.16
Mg (g kg ⁻¹)	6.77	1.86	27.38	2.73	11.99
Fe (g kg ⁻¹)	0.09	0.02	25.74	0.05	0.17
Cu (g kg ⁻¹)	0.01	0.01	48.62	0.01	0.06
Mn (g kg ⁻¹)	0.18	0.06	31.92	0.06	0.41

Tabla 2. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión (-b/3a) para cada función asociada a la proporción de logaritmos centrados en la población analizada (n=144).

Nutrimento	$F_i^C(V_X) = aY^3 + bY^2 + cY + d$	R ²	Rendimiento (g Planta ⁻¹) *
N	$F_i^C(V_N) = 0.00000008Y^3 - 0.0003Y^2 + 0.1771Y + 64.685$	0.9905	1250.00
P	$F_i^C(V_P) = 0.00000005Y^3 - 0.0002Y^2 + 0.1023Y + 81.46$	0.9923	1333.33
K	$F_i^C(V_K) = 0.00000006Y^3 - 0.0002Y^2 + 0.0874Y + 90.601$	0.9956	1111.11
Ca	$F_i^C(V_{Ca}) = 0.00000009Y^3 - 0.0003Y^2 + 0.1943Y + 59.535$	0.9876	1111.11
Mg	$F_i^C(V_{Mg}) = 0.00000009Y^3 - 0.0003Y^2 + 0.2296Y + 47.929$	0.9938	1111.11
Fe	$F_i^C(V_{Fe}) = 0.00000003Y^3 - 0.00002Y^2 + 0.032Y + 113.91$	0.971	2222.22
Cu	$F_i^C(V_{Cu}) = 0.00000006Y^3 - 0.0002Y^2 + 0.1126Y + 78.372$	0.9804	1111.11
Mn	$F_i^C(V_{Mn}) = 0.0000001Y^3 - 0.0003Y^2 + 0.2318Y + 53.424$	0.9939	1000.00
R	$F_i^C(V_R) = 0.00000009Y^3 - 0.0003Y^2 + 0.24Y + 43.13$	0.9943	1111.11

*en el punto de inflexión (-b/3a).

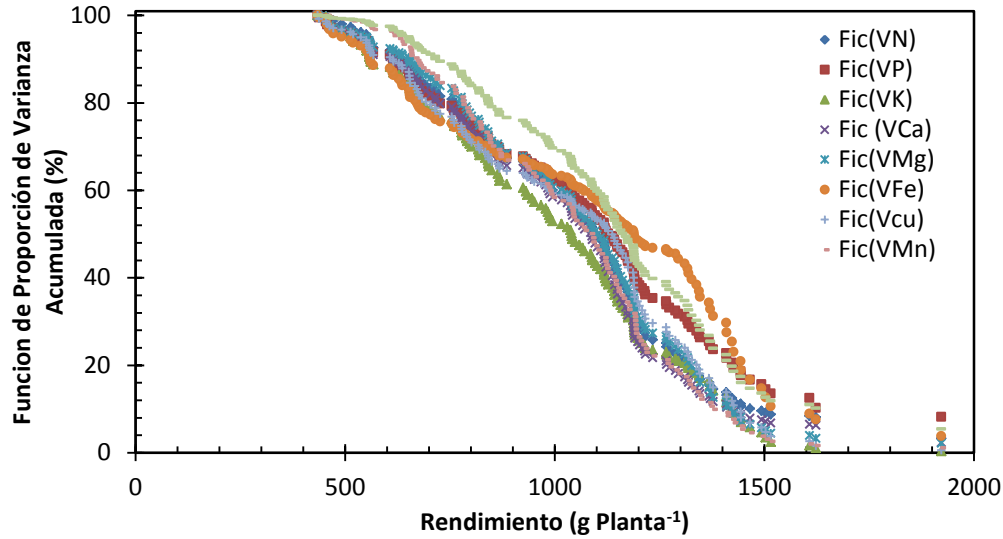


Figura 1. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento de pimiento, y las funciones de proporción de varianza acumulada en el arreglo S^8 para estimar el punto de inflexión y el rendimiento crítico para separar a las sub-poblaciones de alto y bajo rendimiento.

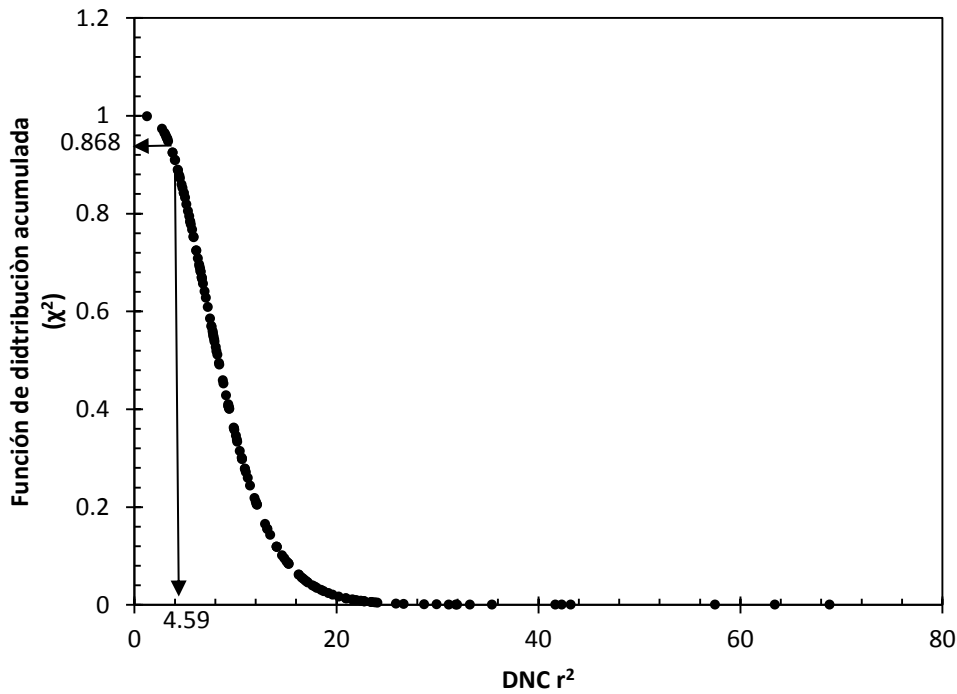


Figura 2. Función de distribución acumulada de χ^2 con nueve grados de libertad para obtener el valor crítico teórico de DNC r^2 en el arreglo S^8 asociado al 86.8% de la población (subpoblación de bajo rendimiento en pimiento).

Tabla 3. Normas preliminares (Media y Desviación estándar, DE de las V_X^*) de diagnóstico de nutrimento compuesto (DNC) para $d = 8$ nutrimentos y rangos de concentración óptimos (concentración media y desviación estándar, DE) en pimiento con un rendimiento de referencia de $1333.33 \text{ g Planta}^{-1}$.

Proporciones logarítmicas centradas	Media	Desviación estándar	Nutrimento	Media (g Kg ⁻¹)	DE (g Kg ⁻¹)
V_N^*	2.51	0.17	N	45.88	6.64
V_P^*	0.09	0.14	P	4.16	0.96
V_K^*	2.57	0.25	K	49.69	12.20
V_{Ca}^*	1.66	0.16	Ca	19.98	4.65
V_{Mg}^*	0.56	0.13	Mg	6.59	1.21
V_{Fe}^*	-3.76	0.11	Fe	0.09	0.01
V_{Cu}^*	-5.96	0.25	Cu	0.01	0.003
V_{Mn}^*	-3.13	0.14	Mn	0.16	0.04
$V_{R_8}^*$	5.46	0.12	R	873.44	16.86
Suma	0				

Tabla 4. Concentraciones nutrimentales óptimas citadas en la literatura para diferentes especies y/o tipos del género *Capsicum*.

Nutrimento	<i>C. annum</i> ^f	<i>C. annum</i> ^g	<i>C. frutescens</i> (chiltepín) ^h	<i>C. annum</i> tipo 'mirasol' ^e
N (g Kg ⁻¹)	40 – 50	29 – 46	47 – 59	30 – 43
P (g Kg ⁻¹)	3 – 5	3 – 5	0.1 – 6	4 – 9
K (g Kg ⁻¹)	25 – 50	26 – 55	54 – 64	47 – 59
Ca (g Kg ⁻¹)	9 – 15	13 – 37	23 – 30	9 – 16
Mg (g Kg ⁻¹)	3 – 6	3 – 12	7 – 9	6 – 9

^fHochmuth (1997)

^gPiggot (1986)

^hGarcía-Hernández *et al.* (2007)

^eValdez-Cepeda *et al.* (2005)

Desafortunadamente, esas concentraciones no se asociaron a un rendimiento de referencia. Asimismo, García-Hernández *et al.* (2007) y Valdez-Cepeda *et al.* (2005) generaron normas de DNC para *C. frutescens* (chiltepín) y *C. annum* tipo 'mirasol', respectivamente, y acotaron concentraciones nutrimentales óptimas (Tabla 4). Los rendimientos de referencia asociados a dichas normas fueron 1.39 t ha^{-1} para chile 'chiltepín' y 3.82 t ha^{-1} para chile 'mirasol'. Al comparar esa información con los rangos nutrimentales asociados a las normas nutrimentales resultantes del presente trabajo, se aprecia una discrepancia para el caso del N, pues la concentración señalada por Hochmuth (1997) fue la más parecida a la encontrada; mientras que las

concentraciones reportadas por Piggot (1986), García-Hernández *et al.* (2007) y Valdez-Cepeda *et al.* (2005) tienen mayor variación. Lo anterior puede ser debido a que las concentraciones reportadas en los últimos tres estudios se derivaron de parcelas en campo, mientras que las del presente caso corresponden a un sistema de producción en invernadero con soluciones nutritivas. Además, con respecto al caso de García-Hernández *et al.* (2007), la diferencia puede asociarse a la diferencia de especies. En el caso del rango del P hay coincidencia total con lo reportado por Hochmuth (1997), Piggot (1986) y García-Hernández *et al.* (2007), y coincidencia parcial con lo señalado por Valdez-Cepeda *et al.* (2005) (Tabla 4). Ésto último puede deberse a la

diferencia de tipos de chile de la especie *C. annum*. En los casos de K, Ca y Mg, los rangos previamente reportados coinciden parcialmente con los definidos en el presente trabajo debido a que todos los valores se traslapan (Tabla 4).

En general, parece ser que el pimiento que se cultiva en invernadero con soluciones nutritivas tiende a concentrar en su tejido foliar cantidades óptimas de nitrógeno diferentes a las concentraciones óptimas en otras especies y tipos de chile cultivados en condiciones de campo. Sin embargo, los rangos de suficiencia de los nutrimentos P, K, Ca y Mg son similares para diferentes especies y tipos de chile, independientemente del sistema de producción. Esto confirma que es importante realizar la validación de las normas de DNC propuestas para el sistema productivo en invernadero con soluciones nutritivas, en especial considerando a los ocho nutrimentos involucrados (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn).

Correlaciones entre nutrimentos y rendimiento

Una correlación es el grado de asociación entre dos variables. La matriz de correlaciones (Tabla 5) provee un panorama general del grado en que el rendimiento depende de los nutrimentos, así como de las correlaciones nutrimentales significativas ($p \leq 0.05$). El rendimiento es dependiente de manera significativa ($p \leq 0.05$) y negativa de la concentración del P. La correlación negativa significativa entre el P y el rendimiento implica que el rendimiento disminuye conforme aumenta la concentración de P en las hojas de las plantas de pimiento. Además, las correlaciones nutrimentales significativas entre N y P, N y Mn, P y K, P y Ca, P y Mg, P y Fe, P y Cu, P y Mn, K y Ca, K y Mg, K y Fe, K y Mn, Ca y Mg, Ca y Fe, Ca y Cu, Ca y Mn, Mg y Fe, Mg y Cu, Mg y Mn, Fe y Cu, Fe y Mn y Cu y Mn fueron positivas; mientras que las correlaciones entre P y R, K y R, Ca y R, Mg y R, Fe y R, Cu y R y Mn y R fueron negativas, lo cual significa que conforme la concentración de uno aumenta, la del otro disminuye. Los nutrimentos N, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn no se correlacionaron de manera significativa con el rendimiento, pero aún así es importante mantener niveles adecuados de los compuestos fotoquímicos en las hojas de las plantas de chile pimiento para asegurar que la fotosíntesis y los procesos regulatorios se lleven a cabo óptimamente. Para confirmar este supuesto otras dos matrices de coeficientes de correlación de Pearson entre el rendimiento y los nutrimentos se realizaron: una al considerar las observaciones de altos rendimientos y la otra con la de bajos rendimientos.

En la matriz de correlaciones elaborada con las observaciones de alto rendimiento (Tabla 6) se aprecia que el rendimiento no dependió de manera significativa ($p \leq 0.05$) de ningún nutrimento. Las correlaciones nutrimentales significativas entre P y Ca, P y Mg, P y Mn, K y Ca, Ca y Mg, Ca y Mn, Mg y Mn y Fe y Cu fueron positivas, mientras que las correlaciones significativas entre N y Mg, P y R, K y R, Ca y R y Mn y R fueron negativas.

En la matriz de correlaciones de las observaciones de bajo rendimiento (Tabla 7) se aprecia que el rendimiento fue dependiente de manera significativa ($p \leq 0.05$) del N ($r = -0.23$) y P ($r = -0.218$). Las correlaciones nutrimentales significativas entre N y P, N y Mn, P y K, P y Ca, P y Mg, P y Fe, P y Cu, P y Mn, K y Ca, K y Mg, K y Fe, K y Mn, Ca y Mg, Ca y Fe, Ca y Cu, Ca y Mn, Mg y Fe, Mg y Cu, Mg y Mn, Fe y Cu, Fe y Mn, y Cu y Mn fueron positivas. Por otra parte, las correlaciones significativas entre P y R, K y R, Ca y R, Mg y R, Fe y R, Cu y R, y Mn y R fueron negativas.

Cabe destacar que en la matriz de correlaciones con todas las observaciones y en la correspondiente a bajos rendimientos, una correlación negativa significativa entre P y rendimiento fue evidenciada. Ello sugiere que el P limitó el rendimiento de las plantas consideradas como unidades experimentales, lo cual puede interpretarse como insuficiencia de dicho nutrimento, en especial en la subpoblación de bajos rendimientos. Sin embargo, lo más probable es que el N haya sido el nutrimento más limitante del rendimiento, ya que esto se evidenció mediante una correlación negativa significativa entre N y rendimiento al considerar las observaciones de bajo rendimiento. Esto confirma lo previamente señalado en el contexto de que los rangos asociados a las normas nutrimentales aquí propuestas se asocian a rangos de suficiencia (de N) diferentes a los reportados para otras especies, e inclusive, otros tipos de chile (Tabla 4). También, ello puede ser explicado por la correlación positiva significativa entre N y P. Esta asociación positiva entre N y P es la tendencia más sorprendente y consistente estadísticamente al considerar una gran diversidad de grupos taxonómicos y especies, lo cual se manifiesta más en los trópicos de 10 a 40° latitud norte (Hedin, 2004; Reich y Oleksyn, 2004); ello sugiere la existencia de una organización, fuerte e inesperada, de las hojas de las plantas en invertir en N y P a través de gradientes climáticos y biogeográficos (Hedin, 2004).

Tabla 5. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r), entre rendimiento (g Planta⁻¹) y concentración de nutrimentos (g kg⁻¹) en tejido vegetal de pimiento con la población completa (n=144).

Variable	Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn
N	-0.141 p=0.093								
P	-0.210 p=0.012	0.246 p=0.003							
K	-0.038 p=0.648	-0.078 p=0.352	0.572 p≤0.0001						
Ca	-0.085 p=0.314	-0.073 p=0.388	0.744 p≤0.0001	0.702 p≤0.0001					
Mg	-0.048 p=0.566	-0.105 p=0.210	0.693 p≤0.0001	0.595 p≤0.0001	0.874 p≤0.001				
Fe	-0.008 p=0.921	0.099 p=0.239	0.677 p≤0.0001	0.481 p≤0.0001	0.650 p≤0.0001	0.592 p≤0.0001			
Cu	-0.007 p=0.937	-0.003 p=0.969	0.302 p≤0.0001	0.122 p=0.145	0.300 p≤0.0001	0.244 p≤0.003	0.401 p≤0.0001		
Mn	-0.147 p=0.078	0.194 p=0.020	0.806 p≤0.001	0.515 p≤0.0001	0.772 p≤0.0001	0.740 p≤0.0001	0.636 p≤0.0001	0.251 p≤0.002	
R	0.085 p=0.310	-0.054 p=0.520	-0.752 p≤0.0001	-0.944 p≤0.001	-0.871 p≤0.001	-0.769 p≤0.0001	-0.616 p≤0.0001	-0.209 p=0.012	-0.707 p≤0.0001

Coefficientes de correlación de Pearson (r) significativos a $p < 0.05$ en negritas.

El que las correlaciones nutrimentales significativas positivas entre N y P, N y Mn, P y K, P y Fe, P y Cu, K y Mg, K y Fe, K y Mn, Ca y Fe, Ca y Cu, Mg y Fe, Mg y Cu, Fe y Mn, y Cu y Mn hayan sido evidenciadas solo para la subpoblación de bajos rendimientos sugiere que aún es posible obtener una respuesta en rendimiento con el incremento de la concentración del par de elementos involucrado. Sin embargo, este supuesto debe tomarse con cautela, en especial los casos de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn porque se correlacionaron negativamente de manera significativa y negativamente con el nutrimento de relleno (R) y, además, los rangos de suficiencia de los nutrimentos P, K, Ca y Mg asociados a las normas propuestas son similares a los de otras especies y tipos de Chile.

En la matriz de correlaciones elaborada con las observaciones de alto rendimiento (Tabla 6) se aprecia que el rendimiento no dependió de manera

significativa ($p \leq 0.05$) de ningún nutrimento. Las correlaciones nutrimentales significativas entre P y Ca, P y Mg, P y Mn, K y Ca, Ca y Mg, Ca y Mn, Mg y Mn y Fe y Cu fueron positivas, mientras que las correlaciones significativas entre N y Mg, P y R, K y R, Ca y R y Mn y R fueron negativas.

En la matriz de correlaciones de las observaciones de bajo rendimiento (Tabla 7) se aprecia que el rendimiento fue dependiente de manera significativa ($p \leq 0.05$) del N ($r = -0.23$) y P ($r = -0.218$). Las correlaciones nutrimentales significativas entre N y P, N y Mn, P y K, P y Ca, P y Mg, P y Fe, P y Cu, P y Mn, K y Ca, K y Mg, K y Fe, K y Mn, Ca y Mg, Ca y Fe, Ca y Cu, Ca y Mn, Mg y Fe, Mg y Cu, Mg y Mn, Fe y Cu, Fe y Mn, y Cu y Mn fueron positivas. Por otra parte, las correlaciones significativas entre P y R, K y R, Ca y R, Mg y R, Fe y R, Cu y R, y Mn y R fueron negativas.

Tabla 6. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r), entre rendimiento (g Planta⁻¹) y concentración de nutrientes (g kg⁻¹) en tejido vegetal de pimiento, en la subpoblación de altos rendimientos (n=19).

Variable	Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn
N	0.177 p=0.468								
P	0.095 p=0.698	0.277 p=0.251							
K	-0.007 p=0.977	-0.107 p=0.662	0.210 p=0.388						
Ca	0.046 p=0.851	-0.120 p=0.624	0.664 p=0.002	0.594 p=0.007					
Mg	0.287 p=0.234	-0.523 p=0.021	0.532 p=0.019	0.285 p=0.237	0.739 p≤0.0001				
Fe	-0.292 p=0.226	-0.240 p=0.322	0.356 p=0.135	0.013 p=-0.957	0.342 p=0.152	0.332 p=0.165			
Cu	0.107 p=0.662	-0.071 p=0.774	0.315 p=0.188	-0.443 p=0.058	0.015 p=0.952	0.208 p=0.392	0.520 p=0.023		
Mn	0.251 p=0.300	0.076 p=0.757	0.612 p=0.005	0.334 p=0.163	0.653 p=0.002	0.468 p=0.043	0.207 p=0.396	0.186 p=0.447	
R	-0.064 p=0.794	-0.026 p=0.916	-0.493 p=0.032	-0.936 p≤0.0001	-0.807 p≤0.0001	-0.447 p=0.055	-0.115 p=0.638	0.304 p=0.206	-0.522 p=0.022

Coefficientes de correlación de Pearson (r) significativos a $p < 0.05$ en negritas.

Cabe destacar que en la matriz de correlaciones con todas las observaciones y en la correspondiente a bajos rendimientos, una correlación negativa significativa entre P y rendimiento fue evidenciada. Ello sugiere que el P limitó el rendimiento de las plantas consideradas como unidades experimentales, lo cual puede interpretarse como insuficiencia de dicho nutriente, en especial en la subpoblación de bajos rendimientos. Sin embargo, lo más probable es que el N haya sido el nutriente más limitante del rendimiento, ya que esto se evidenció mediante una correlación negativa significativa entre N y rendimiento al considerar las observaciones de bajo rendimiento. Esto confirma lo previamente señalado en el contexto de que los rangos asociados a las normas nutrimentales aquí propuestas se asocian a rangos de suficiencia (de N) diferentes a los reportados para otras especies, e inclusive, otros tipos de Chile (Tabla 4). También, ello puede ser explicado por la correlación positiva significativa entre N y P. Esta asociación positiva entre N y P es la tendencia más sorprendente y consistente estadísticamente al considerar una gran diversidad de grupos taxonómicos y especies, lo cual se manifiesta más en

los trópicos de 10 a 40° latitud norte (Hedin, 2004; Reich y Oleksyn, 2004); ello sugiere la existencia de una organización, fuerte e inesperada, de las hojas de las plantas en invertir en N y P a través de gradientes climáticos y biogeográficos (Hedin, 2004).

El que las correlaciones nutrimentales significativas positivas entre N y P, N y Mn, P y K, P y Fe, P y Cu, K y Mg, K y Fe, K y Mn, Ca y Fe, Ca y Cu, Mg y Fe, Mg y Cu, Fe y Mn, y Cu y Mn hayan sido evidenciadas solo para la subpoblación de bajos rendimientos sugiere que aún es posible obtener una respuesta en rendimiento con el incremento de la concentración del par de elementos involucrado. Sin embargo, este supuesto debe tomarse con cautela, en especial los casos de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn porque se correlacionaron negativamente de manera significativa y negativamente con el nutriente de relleno (R) y, además, los rangos de suficiencia de los nutrientes P, K, Ca y Mg asociados a las normas propuestas son similares a los de otras especies y tipos de Chile.

CONCLUSIONES

La técnica de diagnóstico nutrimental compuesto permitió definir un rendimiento de 1333.33 (g Planta⁻¹) como referencia para dividir a la población en subpoblaciones de bajo y alto rendimiento de fruto en el cultivo del pimiento, lo cual facilitó la estimación de normas nutrimentales. Las normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto, expresadas como medias y desviaciones estándar de las proporciones de varianza (V_x^* y SD_x^* , respectivamente) en el cultivo del pimiento, se asocian a los siguientes rangos de concentración (g kg⁻¹): N, 45.88 ± 6.64; P, 4.16 ± 0.96; K, 49.69 ± 12.2; Ca, 19.98 ± 4.65; Mg, 6.59 ± 1.21; Fe, 0.09 ± 0.01; Cu, 0.01 ± 0.003; y Mn, 0.16 ± 0.04.

El rendimiento estuvo limitado de manera significativa por el N y el P. La correlación positiva entre N y P es determinante en la producción de pimiento en invernadero con soluciones nutritivas. Las plantas de pimiento cultivadas en invernadero con soluciones nutritivas tienden a concentrar en su tejido foliar cantidades de N diferentes a las de otras especies y tipos de chile cultivados en condiciones de campo; pero presentaron rangos de suficiencia similares para los nutrimentos P, K, Ca y Mg. Por lo tanto, es recomendable realizar la validación de las normas preliminares de DNC propuestas para sistemas productivos en invernadero con soluciones nutritivas, en especial considerando a los ocho nutrimentos involucrados (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn).

Tabla 7. Matriz de coeficientes de correlación de Pearson (r), entre rendimiento (g Planta⁻¹) y concentración de nutrimentos (g kg⁻¹) en tejido vegetal de pimiento, en la subpoblación de bajos rendimientos (n=125).

Variable	Rendimiento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn
N	-0.230 p=0.010								
P	-0.218 p=0.015	0.249 p=0.005							
K	-0.079 p=0.378	-0.075 p=0.404	0.610 p≤0.0001						
Ca	-0.094 p=0.296	-0.066 p=0.462	0.751 p≤0.0001	0.715 p≤0.0001					
Mg	-0.046 p=0.609	-0.064 p=0.481	0.703 p≤0.0001	0.625 p≤0.0001	0.885 p≤0.001				
Fe	0.009 p=0.917	0.124 p=0.168	0.693 p≤0.0001	0.514 p≤0.0001	0.670 p≤0.0001	0.603 p≤0.0001			
Cu	0.065 p=0.472	0.004 p=0.966	0.297 p≤0.001	0.160 p=0.075	0.315 p≤0.0001	0.244 p=0.006	0.399 p≤0.0001		
Mn	-0.128 p=0.155	0.213 p=0.017	0.816 p≤0.001	0.538 p≤0.0001	0.783 p≤0.0001	0.756 p≤0.0001	0.655 p≤0.0001	0.247 p=0.006	
R	0.124 p=0.168	-0.058 p=0.523	-0.775 p≤0.0001	-0.946 p≤0.001	-0.877 p≤0.001	-0.793 p≤0.0001	-0.645 p≤0.0001	-0.238 p=0.008	-0.726 p≤0.0001

Coefficientes de correlación de Pearson (r) significativos a p<0.05 en negritas.

REFERENCIAS

Alcántar González, G., y Sandoval Villa, M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación especial No.10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.

Blanco-Macías, F., Lara-Herrera, A., Valdez-Cepeda, R.D., Cortés-Bañuelos, J.O., Luna-Flores, M., y 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.

- Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R.D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., y Vidales-Contreras, J.A. 2009. Comparison between CND norms and boundary-line approach nutrient standards *Opuntia ficus-indica* L. case. Revista Chapingo Serie Horticultura 15 (2): 217-223.
- Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R.D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., Vidales-Contreras, J. A., y Murillo-Amador, B. 2010. Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173: 927-934.
- Bremner, J. 1965. Methods of Soil Analysis. Part. 2. Black, C.A. (Ed.). American Soc. of Agron. Madison, WI, USA. 1146 p.
- Consejo Nacional de Productores de Chiles, Sociedad Civil (CNPCh, SC). 2010. Séptima Convención Mundial del Chile. <http://www.horticultivos.com/component/content/article/49-front-page/323-septima-convencion-mundial-del-chile>
- FAO. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. In: www.faostat.fao.org (14/03/2011).
- García-Hernández, J.L., Orona-Castillo. I., González-Cervantes, G., Valdez-Cepeda, R.D., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguéz, E., Fortis-Hernández, M., Segura-Castruita, M.A. 2009. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). Revista Chapingo Serie Horticultura 15 (2): 141-147.
- García-Hernández, J.L., Valdez-Cepeda, R.D., Ávila-S. N.Y., Murillo, A.B., Nieto-Garibay. A., Magallanes-Quintanar, R., Lariñaga-Mayoral, J., y Troyo-Diéguéz, 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., Nieto-Garibay. A., Beltrán-Morales, L.F., Magallanes-Quintanar, R., y Troyo-Diéguéz, E. 2004. Compositional nutrient diagnosis and main nutrient interactions in yellow pepper grown on desert calcareous soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 509-515.
- García-Hernández, J.L., Valdez-Cepeda, R.D., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F.A., Ruiz-Espinoza, F. H., Orona-Castillo. I., Flores-Hernández, A., y Troyo-Diéguéz, 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, Diéguéz, E., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E.O., Rodríguez-Ortiz, J. C., y 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.
- Hedin, L.O. 2004. Global organization of terrestrial plant-nutrient interactions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA: 101(30): 10849-10850.
- Hochmuth, G.J. 1997. Pepper Production Guide for Florida. Commercial Vegetable Guide Series. University of Florida, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, Gainesville, FL, USA.
- Jones, J.B. Jr., Wolf, B., and Mills, H.A. 1991. Plant Analysis Handbook. A Practical Samling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Pub., Athens, GA, USA.
- Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001a. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. Agronomy Journal 93: 802-808.
- Khiari, L., Parent, L.E., and Tremblay, N. 2001b. The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato. Agronomy Journal 93: 815-819.
- Long Solís, J., Álvarez y Aránzazu Camarena, M. 1998. El Placer del Chile. Editorial Clío, Libros y Videos, S.A. de C.V. México, D.F. 97 p.

- 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., y Martínez–Rubín de Celis, E. 2004. 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–Sáenz, E., Pérez–Veyna, O., García–Hernández, J.L., y Martínez–López, J.D. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. Journal of Plant Nutrition 29: 2019–2033.
- Magallanes–Quintanar, R., Valdez–Cepeda, R.D., Pérez–Veyna, O., Blanco–Macías, F., Murillo–Amador, B., Márquez–Madrid, M., Ruiz–Garduño, R.R., y García–Hernández, J.L. 2003. Normas preliminares de diagnóstico nutricional en *Opuntia ficus–indica*. In: Esparza–Frausto, G., Salas–Luévano, M.A., Mena–Covarrubias J., y Valdez–Cepeda R.D. (Eds.). Memoria IX Congreso Nacional, VII Congreso Internacional, Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Zacatecas, Zac., México. pp. 293–297.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition in Higher Plants. 2nd ed. American Press. London, England. 890 p.
- Microsoft Corp. 2007. Microsoft Excel 2007 (Computer Program Manual). Troy, NY, USA.
- Morán–Bañuelos, S.H., Aguilar–Rincón, V.H., Corona–Torres, T., o Castillo–González, F., Soto–Hernández, R.M., y San Miguel–Chávez, R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. Agrociencia 42 (7): 807–816.
- Parent, L.E., and Dafir, M. 1992. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. J. Am. Soc. Hort. Sci. 117: 239–242.
- Piggot, T.J. 1986. Vegetable Crops. In: Reuter, D.J., and Robinson, J.B. (Eds.). Plant Analysis: An Interpretation Manual. Inkata Press. Sydney, Australia.
- Reich, P.B., and Oleksyn, J. 2004. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101(30): 11001–11006.
- SAGARPA. 2010. SIACON. Sistema de información estadística agropecuaria de México. Versión 1.1. In: <http://www.sagarpa.gob.mx> y www.siap.sagarpa.gob.mx (17/02 /2011).
- StatSoft Inc. 2004. Statistica for Windows (Computer Program Manual). StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA.
- Steiner, A.A. 1984. The selective capacity of plants for ion and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture, Wageningen, May 1980, pp. 83–95.
- Velasco, V.A. 1999. Papel de la nutrición balanceada en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Terra Latinoamericana 17(3): 123–200.
- Valdez–Cepeda, R.D., Magallanes–Quintanar, R., Rubio–Díaz, S., García–Hernández, J.L., Murillo–Amador, B., Troyo–Diéguez, E., y Blanco–Macías, F. 2005. Normas nutrimentales DNC para Chile (*Capsicum annum*) tipo “Mirasol” seco. In: Second World Pepper Convention. Zacatecas, Zac., México. pp. 150–157.
- Walworth, J.L., and Sumner, M. E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system. (DRIS). Adv. Soil Sci. 6: 149–188.
- Walworth, J.L., Sumner, M.E., Isaac, R.A., and Plank, C.O. 1986. Preliminary DRIS norms for alfalfa. Agronomy Journal 78: 1046–1052.

Submitted March 28, 2011– Accepted June 11, 2011

Revised received June 14, 2012