

## Normas nutrimentales preliminares para un cultivar criollo de *Capsicum annuum* con base en la técnica de diagnóstico de nutrimento compuesto

J.L. Ríos-Plaza<sup>1</sup>, R.D. Valdez-Cepeda<sup>2</sup>, C. Vázquez-Vázquez<sup>3</sup>, I. Orona-Castillo<sup>3</sup>, M.A. Gallegos-Robles<sup>3</sup>, J.A. Ramírez-Ibarra<sup>4</sup> y J.L. García-Hernández<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Doctorado Interinstitucional en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Agropecuarios. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte, Zacatecas, México. Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas, Zacatecas, México

<sup>3</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Ej. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México

<sup>4</sup> Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México

### Resumen

Una fertilización óptima es importante para mejorar la nutrición vegetal. Por lo tanto, la generación de normas nutrimentales para cada cultivo en diferentes regiones del mundo es indispensable. A través de la metodología de Diagnóstico de Nutriente Compuesto (DNC) se determinó el valor mínimo de alto rendimiento de fruto maduro en fresco del chile tipo jalapeño cv. 'Tajín', así como los rangos de suficiencia de concentraciones de los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en el tejido foliar, asociados a las normas nutrimentales. Estas normas se definieron considerando una base de datos (n = 100 observaciones). El rendimiento mínimo de referencia fue de 16,02 Mg ha<sup>-1</sup>. Los rangos de suficiencia (media ± desviación standard) de los macronutrientes en el tejido foliar fueron: N = 58,44 ± 3,63, P = 3,46 ± 0,22, K = 57,21 ± 3,39, Ca = 24,83 ± 1,99 y Mg = 10,09 ± 0,62 (g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). El rendimiento tiende a depender significativamente de la concentración de Mg. Esto implica que en trabajos futuros se involucre el efecto de este elemento y sus interacciones con otros nutrientes sobre el rendimiento de chile jalapeño cultivar criollo 'Tajín', así como la validación de las normas preliminares propuestas.

**Palabras clave:** Diagnóstico de Nutriente Compuesto, macronutrientes, rendimiento, foliar, fertilización, chile, ají.

### Abstract

**Preliminary nutrient norms for a native cultivar of *Capsicum annuum* on the basis of the compositional nutrient diagnosis approach**

An optimal fertilization is important for improving plant nutrition. Therefore, generation of nutrient norms for every crop in different regions of the world is an essential issue. The Compositional Nutrient Diagnosis (CND or DNC for its acronym in Spanish) approach was used to estimate the minimum value

---

\* Autor para correspondencia: luis\_garher@hotmail.com

<http://doi.org/10.12706/itea.2017.013>

of fresh-mature fruit high-yield for the Jalapeño hot pepper native cultivar 'Tajín' as well as the macronutrient (N, P, K, Ca and Mg) ranges of sufficiency in foliar tissue as linked to the nutrient norms. These norms were defined by using a complete database of  $n = 100$  observations. The target yield was  $16.02 \text{ Mg ha}^{-1}$ . The macronutrient ranges of sufficiency in foliar tissue (mean  $\pm$  standard deviation) were:  $N = 58.44 \pm 3.63$ ,  $P = 3.46 \pm 0.22$ ,  $K = 57.21 \pm 3.39$ ,  $Ca = 24.83 \pm 1.99$  y  $Mg = 10.09 \pm 0.62 \text{ (g kg}^{-1}\text{, respectively)}$ . Yield tends to depend on Mg foliar concentration. This implies that future work should involve effects of this element and its interactions with other nutrients on the yield of Jalapeño hot pepper native cultivar 'Tajín' as well as the validation of the proposed CND norms.

**Keywords:** Compositional Nutrient Diagnosis, macronutrients, yield, foliar, fertilization, hot pepper.

## Introducción

El chile es un producto con una tradición milenaria en México (Toledo-Aguilar et al., 2016). Este cultivo ocupa el octavo lugar con un valor generado en la agricultura nacional de 743 millones de dólares americanos y con un volumen de producción promedio de 2,2 millones de toneladas (FIRA, 2014). El fruto de chile contiene metabolitos secundarios (capsaicinoides y vitaminas C, A y E), de manera que es un alimento atractivo e importante en todo el mundo para revertir o prevenir problemas de mala nutrición (Kantar et al., 2016). Sin embargo, el crecimiento de las plantas, el rendimiento y la producción de los metabolitos secundarios en los frutos pueden ser influenciados por la nutrición mineral (Aldana-luit et al., 2015).

En el cultivo del chile, la nutrición vegetal abarca aspectos desde el costo de los fertilizantes hasta las prácticas agronómicas para garantizar altos rendimientos sin contaminar o degradar los recursos agua, suelo y ambiente (Sahin et al., 2014; Olego et al., 2015). Las deficiencias nutrimentales son factores limitantes en la absorción, transporte, síntesis y acumulación de nutrientes de las plantas (Xu y Mou, 2016). Por consiguiente, el entendimiento de estos mecanismos es de vital importancia para mejorar tanto el valor nutricional como el desarrollo y producción de chile (*Capsicum annuum* L.) en distintos ambientes (González-Zamora et al., 2015).

El contar con una composición nutrimental de referencia asociada a altos rendimientos puede ser útil para diagnosticar correctamente el estado nutrimental y recomendar la aplicación adecuada de fertilizantes para no sub o sobre fertilizar. Al respecto, desde hace varios años se han venido realizando estudios con diferentes tipos de chile (García-Hernández et al., 2007). Ya se han definido normas nutrimentales de chile (*C. annuum*), específicamente para los tipos güero o yellow pepper (García-Hernández et al., 2004), pimiento o bell pepper (Arroyo-Vargas et al., 2013), así como de *C. frutescens* (García-Hernández et al., 2007). En esos casos, la técnica usada para desarrollar las normas de referencia fue la de Diagnóstico de Nutriente Compuesto, DNC (CND por sus siglas en inglés – *Compositional Nutrient Diagnosis*), como fue señalado por Parent y Dafir (1992).

La técnica de DNC involucra un procedimiento estadístico robusto para la definición de rangos de suficiencia asociados a una subpoblación de altos rendimientos con base en un valor de rendimiento mínimo. Este procedimiento es una ventaja que tiene la técnica de DNC con respecto a las técnicas Valor Crítico y Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, entre otras (Khiari et al., 2001; Arroyo-Vargas et al., 2013). Otra ventaja es que permite estimar proporciones multinutrientales que son más representativas de la naturaleza de la composición del tejido vegetal (Khiari et al., 2001). Por consiguiente, el

presente estudio tuvo como objetivos i) calcular las normas nutrimentales basadas en la técnica de DNC para el cultivar criollo 'Tajín' de la especie *C. annuum*, así como ii) identificar las correlaciones significativas entre los nutrientes a través del análisis de componentes principales considerando los índices de DNC y coeficientes de correlación de Pearson.

## Material y métodos

### *Establecimiento del cultivo*

Este trabajo se basa en datos obtenidos en una parcela localizada en el Ejido Benito Juárez, municipio de Francisco I. Madero, Coahuila. Esta localidad pertenece a la región conocida como Comarca Lagunera. El sitio se ubica a 1100 m sobre el nivel del mar, latitud 25°55'35,68" N y longitud 103°22'7,4" O. La precipitación pluvial promedio es de 258 mm anuales y la temperatura media anual es de 22,1°C. La evaporación anual media aproximada es de 2396 mm. Los suelos son de aluvión, profundos y arcillosos (García-Hernández et al., 2009).

Antes de la siembra se tomaron 10 muestras de suelo superficial (0-30 cm) para determinar las características físicas y químicas. El suelo es del tipo franco arcilloso de acuerdo a la textura determinada con el método de Bouyoucus (1927), alcalino y de poca salinidad. El contenido de materia orgánica fue de 1,14% según el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1996). El pH fue 8,2 estimado al considerar una relación suelo: agua 1:2 (Thomas, 1996). La conductividad eléctrica (CE) fue de 1,47 dS m<sup>-1</sup> estimada con un conductímetro marca Horiba, modelo B173. Las cantidades de nutrientes fueron las siguientes: 14 mg kg<sup>-1</sup> de N total por el método Kjeldahl (Kjeldahl, 1883); 14 mg kg<sup>-1</sup> de P total por el método de Olsen; así como 1,45 meq L<sup>-1</sup> de K, 5,2 meq L<sup>-1</sup> de Ca y 6,6 meq L<sup>-1</sup> de Mg estima-

dos por el método de NH<sub>4</sub>OA<sub>c</sub> en una relación 1:20 (Thomas, 1996).

El material genético usado fue *Capsicum annuum* cv 'Tajín', el cual es un genotipo criollo de alto rendimiento. La planta típica de este cultivar es compacta y vigorosa; el tamaño de los frutos es uniforme, de mediano a grande; y madura cuando el color es rojo. La superficie sembrada fue de 0,25 ha<sup>-1</sup>. La siembra se realizó en surcos a doble hilera, con una distancia entre surcos de 1,8 m. La densidad de población fue de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Un sistema de riego por goteo con un suministro de 5 mm de agua por día y acolchado plástico negro para conservación de la humedad fueron involucrados. La distancia entre líneas de riego fue la misma que entre surcos y la distancia entre goteros fue de 0,1 m.

La fertilización aplicada fue 120, 26,22 y 24,9 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, dosificada en 10 fracciones iguales durante el ciclo del cultivo en forma de solución nutritiva mediante el riego de acuerdo a la recomendación de García-Hernández et al. (2007).

Las plagas y enfermedades que se presentaron fueron el picudo del chile (*Anthonomus eugeni*) y cenicilla polvorienta (*Oidiopsis* sp.). El control se hizo con los productos orgánicos Insecta Plus y PHC – Mil stop plus, respectivamente. Ambos son productos certificados por el OMRI (Organic Materials Review Institute).

### *Muestreo de plantas y análisis foliar*

Durante la etapa de floración se recolectaron 100 muestras foliares compuestas tomadas de plantas visiblemente sanas dentro del total del predio. Con la finalidad de no impactar en forma perceptible en la fisiología vegetal al tomar muestras foliares, se toman muestras de 3 plantas contiguas. La muestra compuesta es de 12 hojas tomadas de tres plantas. Las cuatro hojas de cada planta se seleccionan en la parte media de la planta con

características visuales de misma edad (no jóvenes ni viejas). Cada punto de muestreo se seleccionó al azar dentro del predio experimental. Cada planta seleccionada se enumeró del 1 al 100 y las muestras (cuatro hojas de cada planta, incluyendo los peciolo) se tomaron de cada planta enumerada más sus dos vecinas contiguas hacia el norte. Las muestras de follaje fueron lavadas con agua destilada y secadas en estufa hasta peso constante. Cada muestra fue analizada para determinar las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg. El N fue estimado por el método de Kjeldahl (Kjeldahl, 1883). Las concentraciones de K, Ca y Mg se estimaron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (Shimadzu AA-660, Kyoto, Japón) después de la digestión con una mezcla de  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  y  $HClO_4$ . El P fue analizado colorimétricamente a través del método azul complejo fosfomolibdato.

Las plantas de las cuales se obtuvieron las muestras foliares se usaron para obtener el rendimiento considerando la producción de fruto fresco en tres fechas de cosecha (15 de junio, 5 de julio y 20 de julio). Posteriormente, la base de datos fue conformada con las variables rendimiento y concentraciones de los 5 macronutrientes.

#### **Obtención de normas nutrimentales y correlaciones nutrimentales**

Las normas nutrimentales DNC se estimaron a partir del procedimiento teórico-matemático descrito por Khiari et al. (2001), García-Hernández et al. (2009) y Arroyo-Vargas et al. (2013). Para lo cual las concentraciones de los nutrimentos se transformaron a proporciones invariantes (centradas) al dividir las por la media geométrica. Posteriormente, se determinaron los logaritmos de las proporciones centradas  $V_N, V_P, V_K, V_{Ca}, V_{Mg}, \dots, V_{Rd}$ . Para luego calcular las proporciones de varianza  $[f_i(V_x)]$  entre grupos de observación asociados a al-

tos y bajos rendimientos considerando el procedimiento de Cate-Nelson. Las dos observaciones con mayor rendimiento formaron 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 formó por tres observaciones. Mientras que el de bajo rendimiento por una observación menos que el grupo de bajo rendimiento asociado a la iteración inicial; y así sucesivamente. Después, el valor de la función de proporción de varianza acumulada  $[f_i^c(V_x)]$  se estimó, para cada repetición o paso del proceso (iteración), como la suma de las proporciones de varianza. La función de proporción de varianza acumulada se calculó 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), donde resulta una función cúbica útil para comparar la fuerza discriminadora de los logaritmos de las proporciones centradas ( $V_x$ ) entre los grupos de alto y bajo rendimiento, sobre una escala común. Los puntos de inflexión para diferenciar entre las subpoblaciones de altos y bajos rendimientos fueron determinados después de examinar las seis funciones cúbicas ajustadas al considerar las relaciones entre cada función de varianza acumulada  $[F_i^c(V_N), F_i^c(V_P), \dots, F_i^c(V_R)]$  y el rendimiento. Los cálculos se hicieron con el programa Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corp., 2014).

Para la identificación de las correlaciones más importantes entre los nutrientes y el rendimiento (peso fresco del fruto), la matriz de coeficientes de correlación entre los componentes principales y los índices nutrimentales así como la de las variables concentraciones de los nutrientes y rendimiento fueron consideradas. El análisis de componentes principales y la matriz de correlaciones de Pearson se realizaron con el paquete Statistica, versión 10 (StatSoft Inc., 2011).

## Resultados y discusión

### Rendimiento

Los estimadores básicos de la variable rendimiento fueron: media = 15,52 Mg ha<sup>-1</sup>, mínimo = 12,34 Mg ha<sup>-1</sup>, máximo = 19,62 Mg ha<sup>-1</sup> y desviación estándar = 1,83 Mg ha<sup>-1</sup>. Estos valores son similares a los encontrados por García-Hernández et al. (2004) para chile güero (otro tipo de la especie *C. annuum*). Un cultivar de *C. frutescens* presentó un rendimiento máximo de 12,58 Mg ha<sup>-1</sup> (García-Hernández et al., 2007). Otro cultivar tipo jalapeño de *C. annuum* presentó un rendimiento máximo de 68,54 Mg ha<sup>-1</sup> y promedio de 44,89 Mg ha<sup>-1</sup> (Ramírez-Chávez et al., 2016). Estas diferencias de rendimiento entre tipos y cultivares de chile sugieren que los requerimientos de nutrientes difieren entre cultivares y especies de chile y que dependen del ambiente en que se cultivan.

### Normas de diagnóstico de nutrimento compuesto

Seis modelos experimentales fueron estimados al considerar la función de proporción de varianza acumulada de cada nutriente y el rendimiento. Los seis modelos [ $F_i^c(V_N)$ ,  $F_i^c(V_P)$ ,  $F_i^c(V_K)$ ,  $F_i^c(C_a)$ ,  $F_i^c(Mg)$  y  $F_i^c(R_d)$ ] se aprecian en la Figura 1. Todos los modelos experimentales se ajustaron a un modelo cúbico (Tabla 1). La segunda derivada de cada modelo cúbico permitió estimar los puntos de inflexión; es decir, el punto en el cual la concavidad cambia. A esos puntos se asocian los rendimientos que permiten dividir a la muestra en submuestras de altos y bajos rendimientos. Los valores de rendimiento asociados a los puntos de inflexión para cada nutriente analizado, incluyendo el de Rd se observan en la Tabla 1.

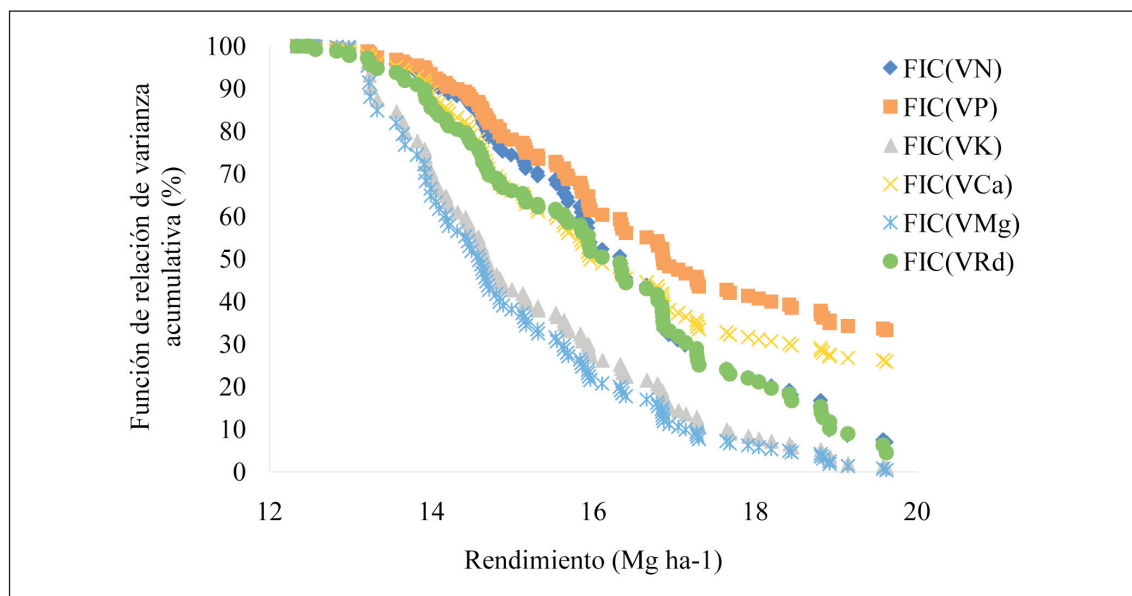


Figura 1. Relaciones cúbicas experimentales entre el rendimiento de *C. annuum* y las proporciones de varianza acumulada en el arreglo  $S^5$  para estimar los puntos de inflexión y los rendimientos críticos para separar a las sub-muestras de alto y bajo rendimiento.

Figure 1. Experimental cubic relationships between yield of *C. annuum* and cumulative variance ratios in the arrangement  $S^5$  to estimate the inflection points and their target yields to separate high- and low-yield sub-samples.

Tabla 1. Modelos cúbicos y rendimiento en los puntos de inflexión para cada función asociada a las proporciones de logaritmos centrados versus rendimiento en *Capsicum annuum*, L. en la muestra completa (n = 100)

Table 1. Cubic models and yield in the inflection points for each function associated with centered logarithm proportions versus *Capsicum annuum* L. yield in the entire sample (n = 100)

| Nutriente | $F_1^c (V_x) = aY^3 + bY^2 + cY + d$       | R <sup>2</sup> | Rendimiento (Mg ha <sup>-1</sup> )<br>en el punto de inflexión (-b/3a) |
|-----------|--|----------------|--|
| N         | $0,6459Y^3 - 31,046Y^2 + 476,72Y - 2269,9$ | 0,9951         | 16,022   |
| P         | $0,5138Y^3 - 24,292Y^2 + 367,28Y - 1698,4$ | 0,9957         | 15,759   |
| K         | $0,146Y^3 - 4,8976Y^2 + 28,504Y + 228,25$  | 0,9881         | 11,200   |
| Ca        | $0,4813Y^3 - 21,977Y^2 + 317,47Y - 1372,1$ | 0,99           | 15,222   |
| Mg        | $0,1001Y^3 - 2,2598Y^2 - 20,09Y + 513,77$  | 0,9868         | 7,517  |
| Rd        | $0,3462Y^3 - 16,378Y^2 + 240,68Y - 1024,5$ | 0,9939         | 15,769   |

Al respecto, es importante señalar que los rendimientos asociados a los puntos de inflexión que corresponden a K y Mg tienen valores menores al mínimo del rango experimental (12,34 Mg ha<sup>-1</sup>). Esta situación ha sido identificada como desventaja del procedimiento por otros investigadores (Khiari et al., 2001; Magallanes-Quintanar et al., 2006; García-Hernández et al., 2007; Hernández-Caraballo et al., 2008; Valdez-Cepeda et al., 2013). Esa falla del procedimiento puede ser superada mediante propuestas hechas por Hernández-Caraballo et al. (2008) y Valdez-Cepeda et al. (2013).

Los índices globales de desbalance nutrimental (DNC r<sup>2</sup>) se ajustan bien a una distribución acumulada de X<sup>2</sup> (Figura 2) de forma similar a la reportada por Arroyo-Vargas et al. (2013). Entonces, según la teoría del método es recomendable considerar al valor de rendimiento mayor para ser usado como referencia con el fin de separar las observaciones en dos sub-muestras, una de alto y otra de bajo rendimientos. En este caso, el valor crítico que

se tomó como referencia fue de 16,02 Mg ha<sup>-1</sup> asociado al punto de inflexión del modelo cúbico ajustado correspondiente a N. Considerando este resultado, el 34% de las observaciones constituyen la sub-muestra de alto rendimiento.

Las normas preliminares de DNC expresadas como rangos de suficiencia en términos de medias y desviación estándar (asociadas a  $V_x^*$  y  $SD_x^*$ , respectivamente) para el cultivar criollo 'Tajín' en la Comarca Lagunera se aprecian en la Tabla 2. Los valores de las concentraciones ahí señaladas para cada nutriente corresponden a la composición foliar óptima para un rendimiento mínimo de 16,02 Mg ha<sup>-1</sup>. La concentración media de P es menor que la estimada por Arroyo-Vargas et al. (2013) para Chile pimiento mientras que las concentraciones medias de los otros 4 nutrientes son mayores. Esto sugiere que los requerimientos de los dos genotipos de *C. annuum* son diferentes, aunque el caso del presente estudio se realizó en campo y el de Arroyo-Vargas et al. (2013) se hizo en invernadero.

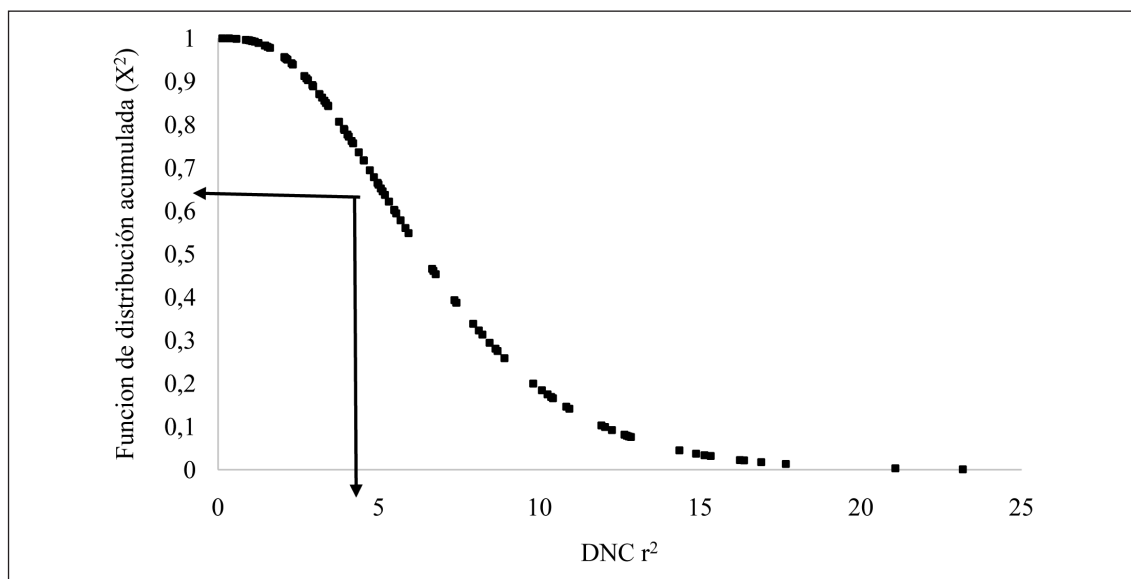


Figura 2. Función de distribución acumulada de  $X^2$  con 5 grados de libertad para obtener el valor crítico teórico de DNC  $r^2$  en el arreglo  $S^5$  asociado al 66% de la muestra (sub-muestra de bajo rendimiento).

Figure 2. Cumulative distribution function of  $X^2$  with 5 degrees of freedom for the theoretical critical value of  $CND r^2$  in the arrangement  $S^5$  associated with 66% of the sample (low-yield sub-sample).

Tabla 2. Normas preliminares (Media y Desviación Estándar de las  $Vx^*$ ) de Diagnóstico de Nutriente Compuesto (DNC) para  $d = 5$  nutrimentos y rangos de suficiencia (concentración media y desviación estándar en *C. annuum* L. Cultivar criollo 'Tajín' en la Comarca Lagunera con un rendimiento de referencia de 16,02 Mg ha<sup>-1</sup>

Table 2. Preliminary compositional nutrient norms (DNC) (Mean and standard deviation of  $Vx^*$ ) for  $d = 5$  nutrients and sufficiency ranges (mean concentration and standard deviation) for *C. annuum* L. native cultivar 'Tajín', in the Comarca Lagunera with a target yield of 16.02 Mg ha<sup>-1</sup>

| Proporciones logarítmicas centradas | Media | Desviación Estándar | Nutriente | Media (g kg <sup>-1</sup> ) | Desviación Estándar (g kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------------|-------|---------------------|-----------|-----------------------------|---|
| VN*                                 | 0,46  | 0,04                | N         | 58,44                       | 3,63                                      |
| VP*                                 | -2,36 | 0,04                | P         | 3,46                        | 0,22                                      |
| VK*                                 | 0,44  | 0,05                | K         | 57,21                       | 3,39                                      |
| VCa*                                | -0,39 | 0,07                | Ca        | 24,83                       | 1,99                                      |
| VMg*                                | -1,29 | 0,06                | Mg        | 10,09                       | 0,62                                      |
| VRd*                                | 3,14  | 0,04                | Rd        | 845,97                      | 7,04                                      |
| $\Sigma Vx$                         | 0,00  | -                   | -         | 1000,00                     | -   |

### Correlaciones entre nutrimentos

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó con los índices de DNC considerando tres casos: la muestra completa ( $n = 100$ ), la sub-muestra de alto rendimiento ( $n = 35$ ) y la submuestra de bajo rendimiento ( $n = 65$ ). En el caso de la muestra completa, los primeros dos componentes principales (CP's) explicaron el 71,25% de la varianza total (Tabla 3). En el caso de altos rendimientos, los dos primeros CP's explicaron el 72,50% de la varianza total y para el caso de bajos rendimientos, los dos primeros CP's explicaron el 75,09% de la varianza total.

En el caso de la muestra completa (Tabla 3), el CP1 está positivamente relacionado entre el IN, IP e IK y negativamente con ICa. Esto sugiere que N, P y K se correlacionan positiva-

mente; sin embargo, N, P y K se correlacionan negativamente con Ca; el CP2 es definido por IMg. En el caso de la subpoblación de altos rendimientos, la estructura del CP1 está definida por IN, IP, IK e IMg; entonces, N, P y K se correlacionan de manera positiva entre sí, pero negativamente con Mg; el CP2 está definido por ICa. En el caso de la subpoblación de bajos rendimientos, la estructura del CP1 sugiere que N, P y K se correlacionan positivamente entre sí, pero N, P y K se correlacionan negativamente con Ca; el CP2 es definido por IMg. De manera notoria, las estructuras de los CP1 y CP2 en la muestra completa y en la sub-muestra de bajos rendimientos son definidas por los mismos nutrientes. Esto indica que el Mg puede ser el nutriente más limitante en el presente experimento, aun-

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los dos primeros componentes principales (CP's) y los índices de DNC para la muestra completa ( $n = 100$ ) y las sub-muestras de alto ( $n = 35$ ) y bajo rendimiento ( $n = 65$ ) para *C. annuum* L. (Criollo 'Tajín')

Table 3. Correlation coefficients between the first two principal components (PC's) and the DNC indexes for the entire sample ( $n = 100$ ) and high- and low- yield subsamples ( $n = 35$  and  $n = 65$ , respectively) for *C. annuum* L. native cultivar 'Tajin'

| Índices DNC          | Muestra Completa<br>( $n = 100$ ) |              | Sub-muestra Alto<br>Rendimiento ( $n = 35$ ) |               | Sub-muestra Bajo<br>Rendimiento ( $n = 65$ ) |              |
|----------------------|-----------------------------------|--------------|--|---------------|--|--------------|
|                      | PC1                               | PC2          | PC1  | PC2           | PC1  | PC2          |
| IN                   | <b>0,842</b>                      | 0,091        | <b>0,890</b>                                 | 0,031         | <b>0,839</b>                                 | 0,138        |
| IP                   | <b>0,803</b>                      | 0,241        | <b>0,720</b>                                 | -0,346        | <b>0,837</b>                                 | 0,199        |
| IK                   | <b>0,739</b>                      | -0,432       | <b>0,788</b>                                 | 0,393         | <b>0,710</b>                                 | -0,528       |
| ICa                  | <b>-0,690</b>                     | -0,374       | -0,617                                       | <b>-0,693</b> | <b>-0,746</b>                                | -0,418       |
| IMg                  | -0,648                            | <b>0,722</b> | <b>-0,728</b>                                | 0,252         | -0,610                                       | <b>0,755</b> |
| IRd                  | -0,629                            | -0,412       | -0,508                                       | 0,657         | -0,677                                       | -0,357       |
| Varianza Explicada   | 3,191                             | 1,084        | 3,099  | 1,251         | 3,295  | 1,211        |
| Proporción del total | 53,183                            | 18,071       | 51,651                                       | 20,857        | 54,916                                       | 20,176       |
| Varianza Acumulada   | 53,183                            | 71,254       | 51,651                                       | 72,508        | 54,916                                       | 75,092       |

Los valores en negritas corresponden a coeficientes ( $\geq 0,7$ ) que definen la estructura del CP.



que se reconoce que el N es el nutriente que limita más frecuentemente el rendimiento en las hortalizas, tal y como lo aseveran Wei et al. (2015).

### Correlaciones entre nutrientes y rendimiento

Las matrices de correlaciones (Tablas 4, 5 y 6) proveen un panorama general del grado en que el rendimiento depende de los nutrientes con base en las correlaciones significativas ( $P \leq 0,05$ ).

En el caso de la base de datos completa ( $n = 100$ ) (Tabla 4), el rendimiento se correlacionó de manera significativa ( $P \leq 0,05$ ) con el Mg. Esto indica que puede ser importante propiciar una concentración de Mg dentro del rango de suficiencia ( $10,09 \pm 0,62 \text{ g kg}^{-1}$ ) asociado a la norma DNC propuesta en las hojas de las plantas de Chile 'Tajín'. Este resultado también implica que el Mg es un nutriente limitante para el cultivar del caso en este tipo de suelo y confirma el resultado del análisis de CP's. Además, las correlaciones significativas

( $P \leq 0,05$ ) entre N y P, N y K, P y K, y Ca y Mg son también positivas. Los nutrientes N, P, K y Ca se correlacionan de manera positiva a  $P \leq 0,05$  con Rd (el total de los nutrimentos no determinados); ello significa que conforme su concentración se incrementa, la de Rd disminuye.

En el caso de la sub-muestra de altos rendimientos ( $n = 35$ ) (Tabla 5), el rendimiento no se correlacionó significativamente con algún nutriente. Sin embargo, las correlaciones entre N y P, N y K, y P y K fueron positivas y significativas ( $P \leq 0,05$ ); es decir, si aumenta la concentración de N en la hoja de la planta de Chile 'Tajín', aumentan las de P y K, e inclusive, si aumenta la de P, la de K se incrementa. Además, la correlación significativa entre K y Rd fue positiva e indica que si se incrementa la concentración de K, la de Rd también aumenta. Las correlaciones negativas significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre N y Rd, y P y Rd sugieren que si las concentraciones de N y P aumentan la de Rd disminuye.

En el caso de la sub-muestra de bajo rendimiento ( $n = 65$ ) (Tabla 6), las correlaciones positivas significativas ( $P \leq 0,05$ ) son las mismas evidenciadas con la muestra completa, ex-

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre rendimiento ( $\text{g Planta}^{-1}$ ) y concentración de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en tejido foliar de Chile 'Tajín' para la muestra completa ( $n = 100$ )  
Table 4. Pearson correlation coefficients ( $r$ ) between yield ( $\text{g plant}^{-1}$ ) and nutrient concentrations ( $\text{g kg}^{-1}$ ) in foliar tissue of Chile 'Tajín' for the entire sample ( $n = 100$ )

|             | Rendimiento | N        | P       | K       | Ca     | Mg       | Rd   |
|-------------|-------------|----------|---------|---------|--------|----------|------|
| Rendimiento | 1,00        |          |         |         |        |          |      |
| N           | 0,16 NS     | 1,00     |         |         |        |          |      |
| P           | 0,12 NS     | 0,82*    | 1,00    |         |        |          |      |
| K           | 0,08 NS     | 0,69*    | 0,68*   | 1,00    |        |          |      |
| Ca          | 0,16 NS     | -0,01 NS | 0,10 NS | 0,01 NS | 1,00   |          |      |
| Mg          | 0,20*       | 0,05 NS  | 0,17 NS | -0,10*  | 0,26*  | 1,00     |      |
| Rd          | -0,17 NS    | -0,89*   | -0,84*  | -0,89*  | -0,21* | -0,11 NS | 1,00 |

\* =  $P \leq 0,05$ .

NS = no significativo.

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre rendimiento (gramos Planta<sup>-1</sup>) y concentración de nutrientes (g kg<sup>-1</sup>) en tejido vegetal de Chile 'Tajin' para la sub-muestra de altos rendimientos (n = 35)  
 Table 5. Pearson correlation coefficients ( $r$ ) between yield (g plant<sup>-1</sup>) and nutrient concentrations (g kg<sup>-1</sup>) in foliar tissue of Chile 'Tajin' for the high-yield sub-sample (n = 35)

|             | Rendimiento | N        | P       | K        | Ca       | Mg       | Rd   |
|-------------|-------------|----------|---------|----------|----------|----------|------|
| Rendimiento | 1,00        |          |         |          |          |          |      |
| N           | -0,14 NS    | 1,00     |         |          |          |          |      |
| P           | -0,16 NS    | 0,76*    | 1,00    |          |          |          |      |
| K           | -0,15 NS    | 0,80*    | 0,66*   | 1,00     |          |          |      |
| Ca          | 0,10 NS     | 0,04 NS  | 0,23 NS | -0,10    | 1,00     |          |      |
| Mg          | 0,10 NS     | -0,21 NS | 0,07 NS | -0,08 NS | 0,23 NS  | 1,00     |      |
| Rd          | 0,11 NS     | -0,92*   | -0,81*  | -0,88*   | -0,29 NS | -0,01 NS | 1,00 |

\* =  $P \leq 0,05$ .

NS = no significativo estadísticamente.

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre rendimiento (gramos Planta<sup>-1</sup>) y concentración de nutrimentos (g kg<sup>-1</sup>) en tejido foliar de Chile 'Tajin' para la sub-muestra de bajos rendimientos(n = 65)  
 Table 6. Pearson correlation coefficients ( $r$ ) between yield (g plant<sup>-1</sup>) and nutrient concentrations (g kg<sup>-1</sup>) in foliar tissue of Chile 'Tajin' for the low-yield sub-sample (n = 65)

|             | Rendimiento | N        | P       | K        | Ca       | Mg       | Rd   |
|-------------|-------------|----------|---------|----------|----------|----------|------|
| Rendimiento | 1,00        |          |         |          |          |          |      |
| N           | 0,12 NS     | 1,00     |         |          |          |          |      |
| P           | 0,19 NS     | 0,85*    | 1,00    |          |          |          |      |
| K           | 0,10 NS     | 0,66*    | 0,69*   | 1,00     |          |          |      |
| Ca          | 0,17 NS     | -0,07 NS | 0,02 NS | 0,04 NS  | 1,00     |          |      |
| Mg          | 0,23 NS     | 0,10 NS  | 0,19 NS | -0,12 NS | 0,29*    | 1,00     |      |
| Rd          | -0,17 NS    | -0,89*   | -0,85*  | -0,90*   | -0,17 NS | -0,12 NS | 1,00 |

\* =  $P \leq 0,05$ .

NS = no significativo estadísticamente.

cepto las correlaciones entre K y Rd, y rendimiento y Mg. Aunque en este último caso, la correlación es significativa a  $P \leq 0.063$ , lo cual sugiere que al considerar la mayoría de los elementos de la muestra la dependencia del rendimiento sobre la concentración de Mg tiende a ser lineal.

### Conclusiones

Las normas preliminares de Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto propuestas como medias y desviación estándar ( $VX^*$  y  $SDX^*$ , respectivamente) de las proporciones de varianza con un rendimiento mínimo de  $16,022 \text{ Mg ha}^{-1}$ , como referencia para chile jalapeño cultivar criollo 'Tajín' en la Comarca Lagunera se asocian a los rangos de suficiencia ( $\text{g kg}^{-1}$ ): N:  $58,44 \pm 3,63$ , P:  $3,46 \pm 0,22$ , K:  $57,21 \pm 3,39$ , Ca:  $24,83 \pm 1,99$  y Mg:  $10,09 \pm 0,62$ .

El rendimiento tiende a depender significativamente de la concentración de Mg. Esto implica que en trabajos futuros se involucre el efecto este elemento y sus interacciones con otros nutrientes sobre el rendimiento de chile jalapeño cultivar criollo 'Tajín', así como la validación de las normas preliminares propuestas.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado a través del Proyecto SEP-CONACYT-CB 257808. Se agradece la colaboración del Sr. Francisco García García, propietario del terreno donde se desarrolló el experimento.

### Bibliografía

Aldana-luit JG, Sauri-Duch E, Miranda-Ham ML, Castro-Concha LA, Cuevas-Glory LF, Vázquez-Flota FA (2015). Nitrate promotes capsaicin ac-

cumulation in *Capsicum chinense* immobilized Placentas. BioMed Research International 2015: 1-6. DOI: 10.1155/2015/794084.

Arroyo-Vargas L, Tirado-Torres JL, Volke-Haller VH, Valdez-Cepeda RD (2013). Normas preliminares de diagnóstico de nutrimento compuesto y correlaciones entre nutrimentos y rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.). Tropical and Subtropical Agroecosystems 16(1): 69-82.

FIRA (2014). Panorama del Chile en México, abril 2014. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de Información, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Distrito Federal, México. 2 p.

García-Hernández JL, Valdez-Cepeda RD, Nieto-Garibay A, Beltrán-Morales LF, Magallanes-Quintanar R, Troyo-Diéguez 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(4): 509-515.

García-Hernández JL, Valdez-Cepeda RD, Servín-Villagas R, Troyo-Diéguez E, Murillo-Amador B, Rueda-Puente EO, Rodríguez-Ortiz JC, Magallanes-Quintanar R (2007). Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(2): 133-140.

García-Hernández JL, Orona-Castillo I, González-Cervantes G, Valdez-Cepeda RD, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez 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.

González-Zamora A, Sierra-Campos E, Pérez-Morales R, Vázquez-Vázquez C, Gallegos-Robles MA, López-Martínez JD, García-Hernández JL (2015). Measurement of capsaicinoids in Chiltepin hot pepper: A comparison study between Spectrophotometric Method and High Performance Liquid Chromatography Analysis. Journal of Chemistry. 2015: 10 p. DOI: 10.1155/2015/709150.

- Hernández-Caraballo EA, Rodríguez-Rodríguez O and Rodríguez-Pérez V (2008). Evaluation of the Boltzmann equation as an alternative model in the selection of the high-yield subsample within the framework of the compositional nutrient diagnosis system. *Environmental and Experimental Botany* 64(3): 225-231.
- Kantar MB, Anderson JE, Lucht SA, Mercer K, Bernau V, Case KA, Le NC, Frederiksen MK, DeKeyser HC, Wong Z, Hastings JC, Baumler DJ (2016). Vitamin variation in *Capsicum* spp. provides opportunities to improve nutritional value of human diets. *PLoS One* 11(8): e0161464.
- Khiari L, Parent EL, Tremblay N (2001). Selecting the high-yield subpopulation for diagnosis nutrient imbalance in crops. *Agronomy Journal* 93(4): 802-808.
- Kjeldahl J (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie* 22(1): 366-382.
- Magallanes-Quintanar R, Valdez-Cepeda RD, Olivares E, Pérez O, García-Hernández JL, López JD (2006). Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *J Plant Nutrition* 29(11): 2019-2033
- Microsoft Corp. (2014). Microsoft Excel 2014 (Computer Program Manual). Troy, NY, USA.
- Nelson DW, Sommers LE (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. En: *Methods of soil analysis part 3 – chemical methods* (Eds. Sparks DL, Page AL, Helmke PA y Loeppert RH), pp. 961-1010. Madison, WI. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Olego MA, Cordero J, Quiroga MJ, Sánchez-García M, Álvarez JC, Garcón-Jimeno E (2015). Efecto de la incorporación de leonardita en el nivel de materia orgánica y micronutrientes en un suelo inceptisol dedicado a viña (*Vitis vinifera* L.). *ITEA.-, Información Técnica Económica Agraria* 111(3): 210-226. DOI: itea.2015.014
- Parent LE, Dafir M (1992). A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(2): 239-242.
- Ramírez-Chávez RI, López-Martínez JD, Troyo-Díez E, Gallegos-Robles MA, Vázquez-Vázquez C, Ramírez-Ibarra JA, García-Hernández JL (2016). Determinación preliminar de normas e interacciones nutrimentales en chile ancho (*Capsicum annuum* L.) en la Comarca Lagunera. *Nova Scientia* 8(17): 198-218.
- Sahin O, Taskin MB, Kadioglu YK, Inal A, Pilbeam DJ, Gunes A (2014). Elemental composition of pepper plants fertilized with pelletized poultry manure. *Journal of Plant Nutrition* 37(3): 458-468.
- StatSoft Inc. (2011). *Statistica for Windows (Computer Program Manual)*. StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA.
- Thomas GW (1996). Soil pH and soil acidity. En: *Methods of soil analysis part 3 – chemical methods* (Eds. Sparks DL, Page AL, Helmke PA y Loeppert RH), pp. 475-490. Madison, WI. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Toledo-Aguilar R, López-Sánchez H, Santacruz-Varela A, Valdez-Moctezuma E, López PA, Aguilar-Rincón VH, González-Hernández VA, Vaquera-Huerta H (2016). Characterization of genetic diversity of native 'Ancho' chili populations of Mexico using microsatellite markers. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76(1): 18-26.
- Valdez-Cepeda RD, Magallanes-Quintanar R, Blanco-Macías F, Hernández-Caraballo E, García-Hernández JL (2013). Comparison among Boltzmann and cubic models for estimation of compositional nutrient diagnosis standards: *Opuntia ficus-indica* L. case. *Journal of Plant Nutrition* 36(6): 895-910.
- Wei M, Li H, Tang Z, Chen X (2015). Growth and Physiological Response to Nitrogen Deficiency and Re-supply in Leaf-vegetable Sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam). *HortScience* 50(5): 754-758.
- Xu C, Mou B (2016). Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 141(1): 12-21.

(Aceptado para publicación el 24 de febrero de 2017)