
COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE BIOMASA Y TEJIDOS
CONDUCTORES EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

*Tropical and
Subtropical
Agroecosystems*

[NUTRIMENTAL COMPOSITION OF BIOMASS AND CONDUCTIVE
TISSUE IN HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* Jacq.)]

José Noh-Medina¹, Lizette Borges-Gómez^{2*} and Manuel Soria-Fregoso²

¹Instituto Tecnológico de Tizimin Km 3.5 carretera final aeropuerto Cupul a Tizimin.
Tizimin, Yucatán. México

²Instituto Tecnológico de Conkal. km 16.3 antigua carretera Mérida-Motul. Conkal,
Yucatán, México. Email: lizette_borges@hotmail.com.mx

*Corresponding author

RESUMEN

El estado nutrimental de las plantas puede conocerse a través del análisis en tejido seco o del extracto celular. El primero es el más utilizado; sin embargo, el segundo es más rápido, permitiendo tomar decisiones con prontitud. En chile habanero se desconoce si entre las dos formas analíticas existe relación alguna. Por tanto, el objetivo del estudio fue conocer la posible correspondencia entre ambas formas analíticas. Para ello, se colectaron muestras de biomasa y extracto celular de tejidos vasculares de plantas criollas a los 50, 75, 100 y 120 días de desarrollo. Se determinaron los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn y se evaluaron las interacciones entre ambas. Se obtuvo también las relaciones entre nutrimentos, la curva de acumulación y la eficiencia de absorción de NPK. Los resultados mostraron alta correlación $r=0.9$ en la biomasa y el extracto celular en nutrimentos móviles en la planta (N, P y K), una correlación $r=0.8$ en nutrimentos de movilidad intermedia (Zn) y una correlación $r=0.6$ en nutrimentos de baja movilidad (Ca y Mn); el Fe y Mg fueron los únicos que no mostraron relación significativa entre biomasa y extracto celular. La relación entre nutrimentos en la biomasa presentó mayor número de respuestas significativas que la de nutrimentos en el extracto celular. Las curvas de acumulación de NPK sugieren que la fertilización de 130-120-160 de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, debe aumentarse en 63% para N, reducirse a la mitad el P₂O₅ y mantener la dosis de K₂O.

Palabras clave: Nutrición mineral; extracto celular; tejido seco.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la absorción de nutrimentos permite establecer las bases de la fertilización de los cultivos, de esta manera la fertilización puede ser ajustada al

SUMMARY

The nutritional status of plants can be determined through analysis in dry tissue or cell extract. The first is the most commonly used, but the second is faster, allowing decisions promptly. In habanero pepper is unknown whether both analytical connections exist. Therefore, the aim of the study was to determine the possible overlap between the two analytical ways. For this, samples were collected at 50, 75, 100 and 120 days of development of biomass and cell extract of plant vascular tissues creoles. We determined the contents of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn and Mn and assessed the interactions between them. It was also the relationship between nutrients, the curve of accumulation and the efficiency of absorption of NPK. The results showed high correlation $r=0.9$ on biomass and extract cellular mobile plant nutrients (N, P and K), a correlation $r=0.8$ nutrient mobility intermediate (Zn) and a correlation $r=0.6$ nutrient low mobility (Ca and Mn); the Fe and Mg did not show significant relation between biomass and cellular extract. The relationship between nutrients in biomass provided more significant responses to the nutrients in the cell extract. Curves suggest that accumulation of NPK 130-120-160 fertilization of N, P₂O₅ and K₂O respectively, should be increased by 63% for N, halved the P₂O₅ and keep the dose of K₂O.

Key words: Mineral nutrition; cellular extract; dry tissue.

ciclo del cultivo y por consecuencia, optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar; evitar el deterioro de los suelos y disminuir el impacto de la fertilización en el ambiente. La mayor eficiencia de los nutrimentos aplicados al suelo para la producción de cultivos se

basa fundamentalmente en la posibilidad de aplicarlos según la demanda de la planta (Volke *et al.*, 1997; Terry, 2008). Una manera clásica de evaluar el estado nutricional de las plantas ha sido el análisis foliar; sin embargo, algunos estudios han demostrado que el análisis foliar no refleja la absorción y su interrelación con otros nutrimentos (Järvan and Pöldma, 2004). Por otra parte, numerosos estudios señalan que la evaluación de la composición mineral de la planta completa proporciona: información sobre la demanda total de los nutrimentos que toma del suelo; permite conocer las características de su condición nutricional e indica su potencial productivo. No obstante, Burgueño (1994), Cadahía (1998) y Etchevers (2000) mencionan que el análisis de tejido vegetal si bien ha sido considerado como un medio clásico de control de la nutrición, para plantas que producen una biomasa importante en un corto plazo, este tipo de análisis podría resultar no ser la mejor opción. Así mismo señalan que el análisis de los tejidos vasculares (tallos, pecíolos, brotes axilares) están en relación permanente y directa entre la fuente de aprovisionamiento (sistema radical) y las zonas de utilización de los elementos minerales (hojas y fruto) por lo que constituyen un indicador mejor adaptado a hortalizas con rápida producción de biomasa. Hasta el momento se desconoce si existe una relación entre el contenido en tejido seco y el del extracto celular de tal forma que a partir de este último se pudieran tomar decisiones rápidas que contribuyan a mejorar el estado

nutricional de la planta en lugar del análisis de tejido seco cuyo proceso analítico requiere de varios días. Los objetivos de este estudio fueron: evaluar el estado nutricional del cultivo de chile habanero mediante el análisis de tejido vegetal (biomasa) y del extracto celular de tejidos vasculares en diferentes etapas fenológicas; conocer si existe una dependencia entre el contenido de los nutrimentos en la biomasa y el extracto celular; la relación entre los nutrimentos; conocer la curva de acumulación de macro y micronutrimentos y estimar la eficiencia de absorción de fertilizantes de N, P y K.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del cultivo.

Plantas de chile habanero del ecotipo criollo naranja fueron sembradas en una superficie de 3200 m² en un suelo clasificado como *Lithic Ustorthent* (Tabla 1) del municipio de Chicxulub Pueblo (21° 8' 9.9" N y 89° 30' 59.2" W) al norte del estado de Yucatán, México, con una densidad de población de 25000 plantas por hectárea. La fertilización aplicada fue 130-120-160 de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, a través de un sistema de fertirriego utilizando agua de pozo de una profundidad de 7 m (Tabla 2). La aplicación de los fertilizantes y el volumen de agua utilizado se muestran en la Tabla 3.

Tabla 1. Principales características del suelo donde fue establecido el cultivo de chile habanero

| Característica | Valor | Característica | Valor |
|---|----------------|---|-------|
| pH | 8.01 | Materia orgánica (%) | 5.86 |
| Arena (%) | 10.3 | CIC (meq 100 g ⁻¹) | 53 |
| Limo (%) | 41.2 | Nitrógeno total (%) | 0.398 |
| Arcilla (%) | 48.5 | Fósforo Olsen (mg kg ⁻¹) | 21.7 |
| Clasificación textural | Arcillo-limoso | K intercambiable (meq 100 g ⁻¹) | 1.9 |
| Densidad aparente (g cm ⁻³) | 0.81 | | |

Tabla 2. Características del agua de riego.

| Parámetro | unidades | valor | Parámetro | unidades | valor |
|--------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|
| pH | | 7.2 | Cloruros | mg L ⁻¹ | 145.3 |
| C.E ^z . | μS cm ⁻¹ | 112.5 | Carbonatos | mg L ⁻¹ | 30.4 |
| Calcio | mg L ⁻¹ | 176.2 | Bicarbonatos | mg L ⁻¹ | 323.9 |
| Magnesio | mg L ⁻¹ | 24.5 | Salinidad efectiva | meq L ⁻¹ | 3.1 |
| Sodio | mg L ⁻¹ | 71.4 | Salinidad Potencial | meq L ⁻¹ | 4.9 |
| Sulfatos | mg L ⁻¹ | 29.2 | CSR ^x | meq L ⁻¹ | 4.5 |
| RAS ^y | | 1.88 | | | |

^zConductividad eléctrica, ^yRelación de adsorción de sodio, ^xcarbonato de sodio residual

Tabla 3. Oportunidad de fertilización del cultivo de chile habanero.

| Etapa del cultivo | | DDT ^z | Dosis aplicada | | | Volumen de riego m ³ |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| | | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | | |
| I | Desarrollo | 50 | 35 | 35 | 35 | 315 |
| II | Floración y fructificación | 75 | 55 | 50 | 65 | 240 |
| III | Maduración de fruto | 100 | 20 | 15 | 25 | 360 |
| IV | Cosecha | 120 | 20 | 20 | 35 | 256 |

^zDías después del trasplante

Obtención de las muestras

Las plantas fueron muestreadas en cuatro etapas fenológicas: I) vegetativa, a los 50 días después del trasplante (DDT); II) floración, a los 75 DDT; III) fructificación, a los 100 DDT y IV) en producción, a los 120 DDT. Los muestreos realizados a las plantas consistieron en: 1) obtención del extracto celular, en donde por cada etapa fenológica se tuvieron tres grupos de veinte plantas cada uno y se tomaron los quintos pecíolos a partir de los ápices de crecimiento; estos fueron sumergidos en éter para detener el metabolismo, posteriormente los frascos conteniendo los pecíolos y el éter fueron congelados con el fin de congelar el extracto celular y proceder a drenar el éter. Por último se descongeló el extracto celular contenido en los pecíolos y se les extrajo por presión el líquido para el análisis de contenido de minerales; 2) obtención de la biomasa, para lo cual se colectaron en cada etapa fenológica y por triplicado plantas completas (incluyendo raíz), las cuales fueron secadas en la estufa a 60°C para obtener el tejido seco y posteriormente molidas para el análisis de contenido de minerales.

Parámetros evaluados

Los minerales analizados en el tejido seco fueron: N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, y Mn. El contenido de N fue determinado por el método Kjeldhal (Bremner, 1965). Los contenidos de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn se determinaron mediante el análisis de ceniza y digestión ácida. Las concentraciones se obtuvieron por espectrofotometría de absorción atómica, excepto para P el cual se obtuvo por espectrofotometría UV. Los análisis realizados del líquido extraído de tejidos conductores fueron: NO₃, PO₄, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, y Cu. La concentración de los nutrientes fue obtenida directamente con un espectrofotómetro de absorción atómica GBC904AA, excepto el PO₄ que se obtuvo con un espectrofotómetro UV marca Spectronic 510. Los mismos equipos fueron utilizados en el análisis de tejido seco. El contenido de NO₃ se obtuvo con un medidor de electrodo específico marca HORIBA.

Se estimó la eficiencia de absorción del fertilizante relacionando la cantidad absorbida de N, P₂O₅ y K₂O con la dosis aplicada de estos elementos utilizando la ecuación (Chávez *et al.*, 2000):

$$EA = (AB*100) / AP$$

Donde: EA = Eficiencia de absorción; AB = Absorción del nutrimento y AP = Dosis aplicada del nutrimento.

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente calculando la media, el error estándar y los modelos de regresión lineal utilizando el software Statgraphic plus v 4.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de nutrimentos en tejido seco y extracto celular

La mayoría de los nutrimentos en tejido mostraron respuestas similares. Con excepción de Ca cuyo contenido aumentó con la edad de la planta, los contenidos de N, P, K, Mg, Cu, Fe y Mn disminuyeron (Figura 1). Sin embargo, en la dinámica del Zn se observó una respuesta diferente ya que mostró un incremento al finalizar el ciclo del cultivo. En el caso de N y P una respuesta similar se observó en el cultivo de papa en donde a medida que aumentó la edad de la planta, se redujo la concentración en el tejido, aunque para P al final del ciclo, se reportó un ligero incremento para este cultivo (Badillo-Tovar *et al.*, 2001, Covarrubias-Ramirez *et al.*, 2005). El orden de contenido de nutrimentos mayores fue N>K>Ca>Mg>P (g planta⁻¹) para las cuatro etapas de desarrollo evaluadas al cultivo. En cuanto a los nutrimentos menores el orden de contenido fue: Fe>Zn>Mn>Cu (mg planta⁻¹) para las cuatro etapas evaluadas, superando ligeramente el Mn al Zn únicamente a los 75 días de desarrollo de la planta.

Por otra parte, en el extracto celular, los contenidos de NO₃, PO₄ y Ca aumentaron con la edad de la planta; mientras que los de K, Cu y Mn disminuyeron. En

contraste los de Mg, Fe y Zn en los tres primeros muestreos se observó un incremento pero al final del ciclo del cultivo estos declinaron (Figura 1). Esta misma tendencia en N-NO₃ fue reportada en Chile jalapeño (*Capsicum annum*), sin embargo para este cultivo se reportó un rango entre 800 y 1150 mg L⁻¹ de N-NO₃ que corresponde a 3536 y 5083 mg L⁻¹ de NO₃ respectivamente (Brisuela-Amador *et al.*, 2005). El K mostró ser el nutrimento de mayor concentración en el extracto celular (7069 mg L⁻¹) es probable que esto se deba a que el K es el catión más abundante en citosol en donde participa en un gran número de funciones (Véry and Sentenac, 2003). Después de K el orden por su contenido fue: K>NO₃>Mg>PO₄>Ca (mg L⁻¹). En cuanto a los nutrimentos menores su contenido al inicio (73 días de desarrollo) fue Zn>Mn>Cu>Fe, este orden no se mantuvo en las etapas intermedia y al finalizar el ciclo del cultivo. La dinámica para Zn, Fe y Mn mostraron un incremento en las primeras etapas de desarrollo que declinaron con la edad de la planta, observándose esto principalmente en Zn. Una respuesta similar fue reportada por Page y Feller (2005) para Zn y Mn en plantas de trigo.

Relación de nutrimentos entre el contenido de tejido seco y del extracto celular

Con excepción de Fe y Mg, el contenido de nutrimentos en tejido seco mostró una correlación lineal con el contenido en extracto celular, lo cual señala que existe un patrón que podría considerarse consistente entre ambas partes (Figura 2). Los nutrimentos N, P y K presentaron los mayores valores de $r = -0.92$, -0.93 y 0.92 respectivamente; éstos nutrimentos se mueven fácilmente en la planta y pueden ser translocados de hojas maduras a sitios demandantes (Marschner, 1995), lo que sugiere un equilibrio de su contenido entre tejido y extracto celular lo cual podría explicar la relación significativa ($p < 0.0001$) entre las formas analizadas. En los tres nutrimentos su contenido en tejido seco disminuyó con la edad de la planta; sin embargo, en el extracto celular el NO₃ y PO₄ incrementaron con la edad, mientras que K disminuyó (Figura 1). Esto indica que los contenidos de NO₃ y PO₄ en el extracto celular están condicionados al contenido en tejido seco, ya que valores altos de su contenido en tejido, significan bajas concentraciones en el extracto celular, por lo que se observó una tendencia lineal negativa, no así para K que mostró una tendencia lineal positiva. Es probable que esto se deba a la diferencia existente entre sus funciones en la planta. El N y P son nutrimentos estructurales que forman compuestos orgánicos en la planta, en la cual al llegar a la senescencia dejan de formarse, como resultado el NO₃ y PO₄ son translocados de las hojas maduras a tejidos meristemáticos (Marschner, 1995; Borrell and Hammer, 2000). Por otra parte, el K no forma

compuestos orgánicos y entre sus funciones está actuar como activador enzimático (Véry and Sentenac, 2003), y puede deberse a ello que durante todo el ciclo del cultivo un incremento de K en tejido seco se relaciona con un incremento en el extracto celular. Una tendencia lineal positiva de K fue también reportada en alfalfa al comparar su concentración en tejido seco y extracto celular producido en invernadero, Kallenbach (2000). Los minerales que mostraron menor relación entre el contenido en tejido seco y el extracto celular fueron Cu, Zn, Ca y Mn (Figura 2), los cuales corresponden a los nutrimentos cuya movilidad es intermedia para Cu y Zn y muy limitada para Ca y Mn (Nable and Loneragan, 1984; Marschner, 1995). Lo anterior sugiere que mientras no existan limitaciones en el suministro se mantiene una relación entre nutrimentos tal como se observa para Cu y Zn de movilidad intermedia, ya que de acuerdo a Herren and Feller, (1996) la redistribución de micronutrimentos depende tanto de la edad de la planta como del contenido en los órganos que proveen a las zonas de crecimiento.

Por otra parte, para Ca y Mn existe la posibilidad de que dada su movilidad limitada en la planta estos no son translocados de las hojas maduras a los sitios demandantes, como son ápices de crecimiento, raíz y frutos, y a ello se deba los valores bajos del coeficiente de correlación en la relación lineal entre el tejido y el extracto celular. De acuerdo a Etchevers (2000), no obstante la dependencia de concentración de nutrimentos entre tejido seco y extracto celular, la utilidad del análisis en ambos casos se basa en estudios que permitan establecer valores de referencia. En este contexto, el conocimiento de dicha relación podría ser utilizada para obtener valores de referencia con más rapidez, así como su uso posterior en el diagnóstico nutrimental del cultivo.

Interacciones de nutrimentos en tejido seco y extracto celular

Las interacciones del contenido de nutrimentos en tejido seco mostraron una tendencia lineal positiva excepto para Ca, lo que significa que a altos contenidos de Ca en la biomasa se tienen bajos contenidos de otros nutrimentos (N, P, K, Mg, Cu, Fe, y Mn) (Tabla 4). Respecto al contenido de Zn en la biomasa, éste no mostró relaciones con los nutrimentos N, P, K, Mg y Cu y únicamente con Fe y Mn se observó una débil relación ($p < 0.05$). No se ha reportado en la literatura el balance entre nutrimentos para *Capsicum*; sin embargo, para algunas leguminosas se ha reportado una misma tendencia positiva entre N y P en el análisis de planta completa (Chaudhary *et al.*, 2008). En cuanto a la relación entre nutrimentos en el extracto celular se tuvieron diferentes niveles de significancia (Tabla 4). Doce

modelos de regresión lineal mostraron que el aumento de la concentración de un nutriente estuvo condicionado negativamente a la concentración de otro. Rangel-Lucio *et al.*, (2002) reportaron en sorgo que un aumento en el contenido NO_3 tuvo un decremento en K en el extracto celular. Una respuesta similar fue encontrada para chile habanero no

únicamente entre NO_3 y K, ya que se observó que a concentraciones altas de NO_3 y PO_4 en el extracto se observaron concentraciones bajas de K, Cu y Mn. Así mismo se observaron respuestas negativas en Ca, en donde a mayores concentraciones de Ca en el extracto celular se tuvieron menores concentraciones de Fe, Zn y Mn (Tabla 4).

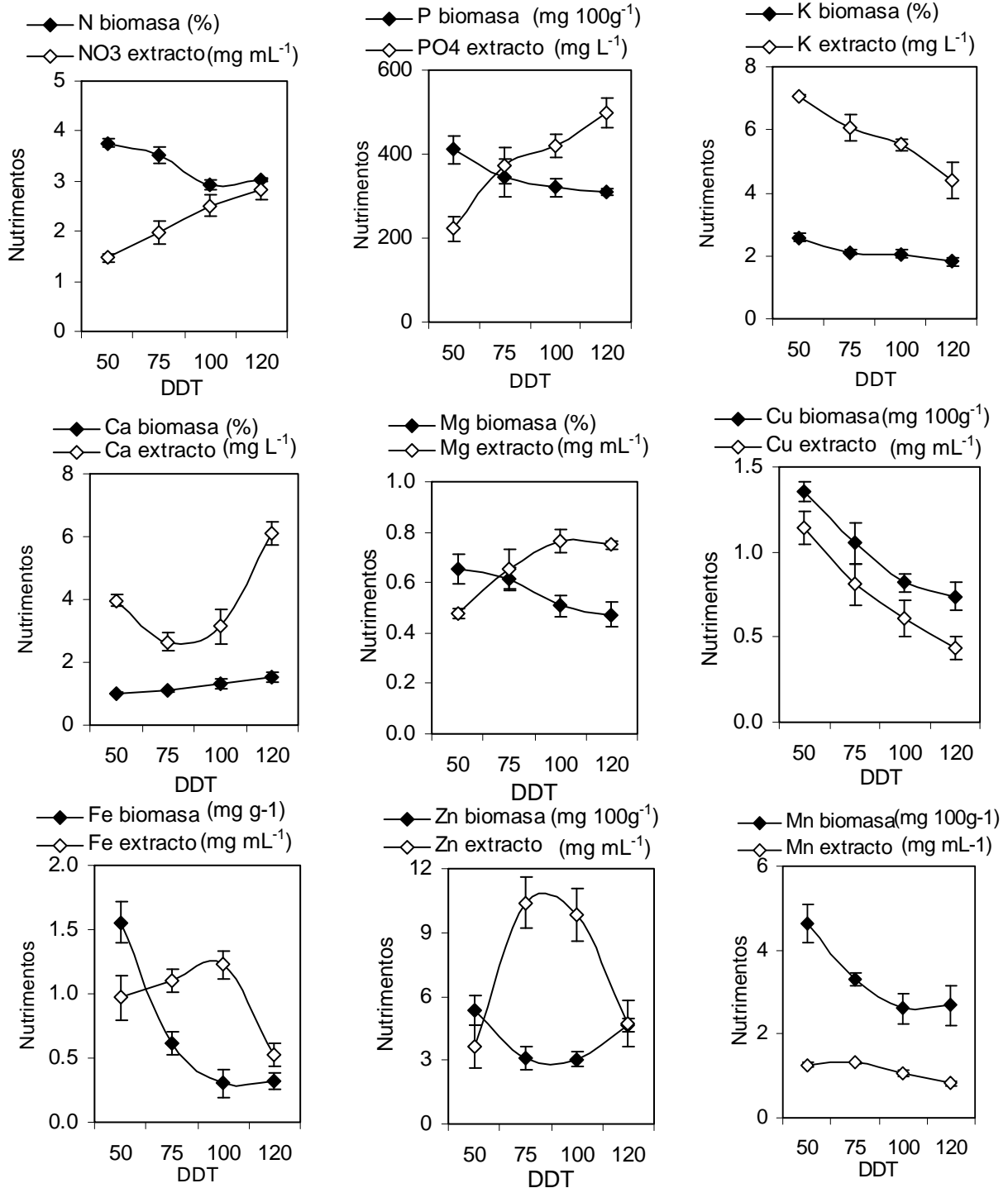


Figura 1. Contenido de nutrientes en tejido seco y extracto celular del cultivo de chile habanero en diferentes etapas de desarrollo.

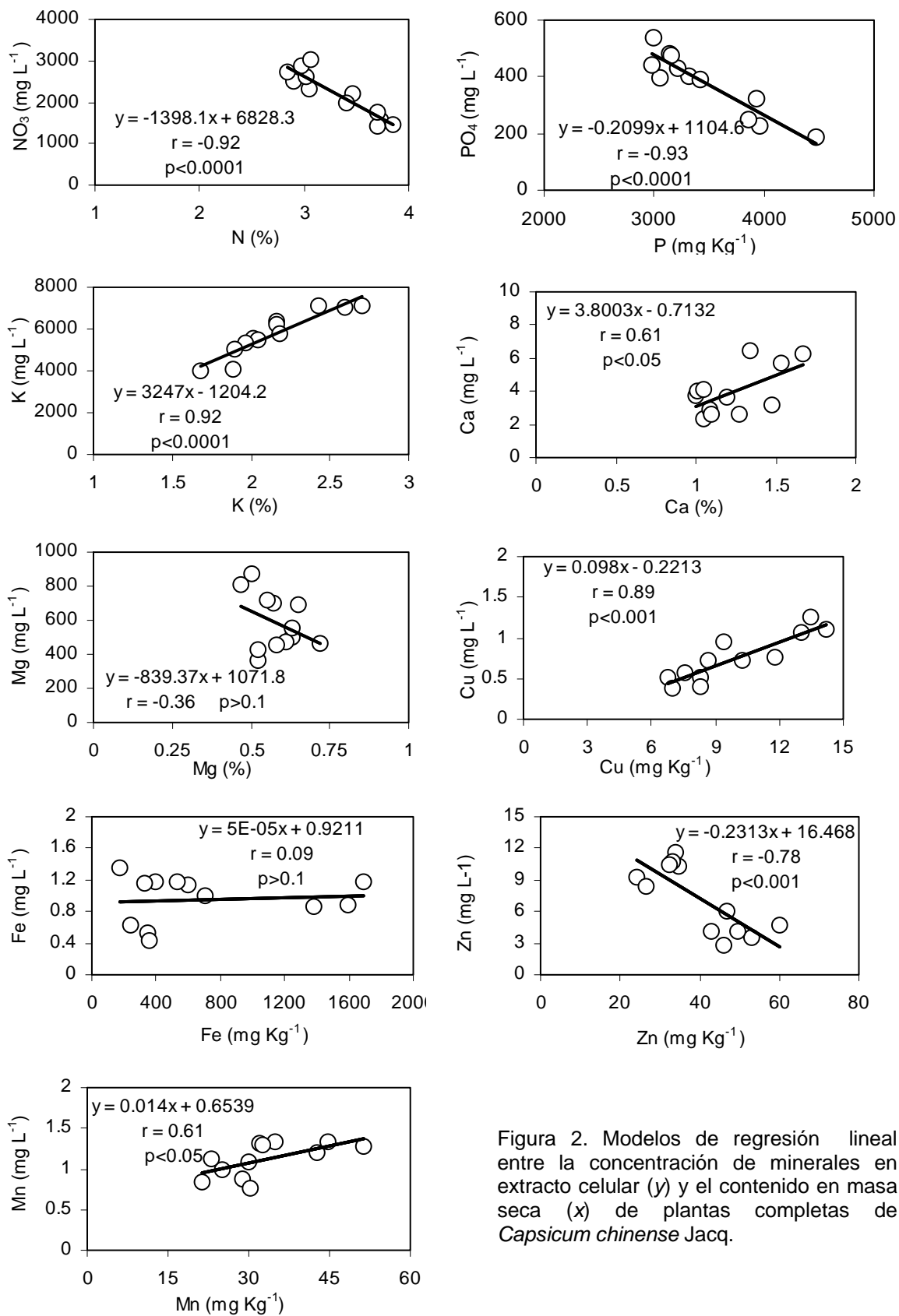


Figura 2. Modelos de regresión lineal entre la concentración de minerales en extracto celular (y) y el contenido en masa seca (x) de plantas completas de *Capsicum chinense* Jacq.

Tabla 4. Relación entre la concentración de nutrientes en la biomasa total (*b*) y extracto celular (*e.c.*) de chile habanero.

| TEJIDO SECO | | EXTRACTO CELULAR | |
|--------------------------------|-----------|---|-----------|
| Ecuación | R | Ecuación | r |
| $N_b = 1.12 + 0.0006 * P_b$ | 0.82** | $NO_{3\ e.c.} = 337 + 4.9 * PO_{4\ e.c.}$ | 0.95**** |
| $N_b = 1.28 + 0.946 * K_b$ | 0.76** | $NO_{3\ e.c.} = -130 + 3.5 * Mg_{e.c.}$ | 0.83*** |
| $N_b = 1.3 + 3.6 * Mg_b$ | 0.85**** | $NO_{3\ e.c.} = 5099 - 0.503 * K_{e.c.}$ | -0.94**** |
| $N_b = 2.01 + 0.132 * Cu_b$ | 0.92**** | $NO_{3\ e.c.} = 3530 - 1772 * Cu_{e.c.}$ | -0.89*** |
| $N_b = 2.91 + 0.0006 * Fe_b$ | 0.84**** | $NO_{3\ e.c.} = 4740 - 2269 * Mn_{e.c.}$ | -0.84*** |
| $N_b = 2.19 + 0.034 * Mn_b$ | 0.82** | | |
| | | $PO_{4\ e.c.} = -64 + 0.662 * Mg_{e.c.}$ | 0.82** |
| $P_b = 427 + 1414 * K_b$ | 0.89**** | $PO_{4\ e.c.} = 931 - 0.096 * K_{e.c.}$ | -0.93**** |
| $P_b = 1284 + 3865 * Mg_b$ | 0.70* | $PO_{4\ e.c.} = 639 - 347 * Cu_{e.c.}$ | -0.92**** |
| $P_b = 1838 + 163 * Cu_b$ | 0.89**** | $PO_{4\ e.c.} = 805 - 381 * Mn_{e.c.}$ | -0.74** |
| $P_b = 2948 + 0.7312 * Fe_b$ | 0.82** | | |
| $P_b = 2034 + 43 * Mn_b$ | 0.81** | $Ca_{e.c.} = 8.02 - 4.23 * Fe_{e.c.}$ | -0.88*** |
| | | $Ca_{e.c.} = 5.98 - 0.281 * Zn_{e.c.}$ | -0.65* |
| $K_b = 0.60 + 2.75 * Mg_b$ | 0.80** | $Ca_{e.c.} = 9.94 - 5.34 * Mn_{e.c.}$ | -0.79** |
| $K_b = 1.10 + 0.105 * Cu_b$ | 0.91**** | | |
| $K_b = 1.81 + 0.0005 * Fe_b$ | 0.86**** | $Mg_{e.c.} = 1195 - 0.09 * K_{e.c.}$ | -0.71** |
| $K_b = 1.26 + 0.027 * Mn_b$ | 0.81** | $Mg_{e.c.} = 961 - 389 * Cu_{e.c.}$ | -0.82** |
| | | $Mg_{e.c.} = 1112 - 396 * Mn_{e.c.}$ | -0.61* |
| $Ca_b = 2.8 - 0.48 * N_b$ | -0.79** | | |
| $Ca_b = 2.37 - 0.0003 * P_b$ | -0.70* | $Fe_{e.c.} = -0.093 + 0.938 * Mn_{e.c.}$ | 0.67* |
| $Ca_b = 2.54 - 0.61 * K_b$ | -0.81** | $Fe_{e.c.} = 0.57 + 0.53 * Zn_{e.c.}$ | 0.59* |
| $Ca_b = 2.49 - 2.23 * Mg_b$ | -0.87**** | | |
| $Ca_b = 1.97 - 0.07 * Cu_b$ | -0.86**** | $Cu_{e.c.} = 0.67 + 0.0002 * K_{e.c.}$ | 0.91**** |
| $Ca_b = 1.42 - 0.0003 * Fe_b$ | -0.67* | $Cu_{e.c.} = -0.47 + 1.09 * Mn_{e.c.}$ | 0.80** |
| $Ca_b = 1.8 - 0.016 * Mn_b$ | -0.64* | | |
| $Mg_b = 0.263 + 0.030 * Cu_b$ | 0.89**** | | |
| $Mg_b = 0.483 + 0.0001 * Fe_b$ | 0.70* | | |
| $Mg_b = 0.368 + 0.006 * Mn_b$ | 0.64* | | |
| $Cu_b = 6.91 + 0.004 * Fe_b$ | 0.89**** | | |
| $Cu_b = 1.76 + 0.246 * Mn_b$ | 0.86**** | | |
| $Fe_b = -520 + 30 * Zn_b$ | 0.62* | | |
| $Fe_b = -1157 + 56 * Mn_b$ | 0.94**** | | |
| $Zn_b = 14.81 + 0.77 * Mn_b$ | 0.63* | | |

^{NS} No significativo, * significativo p<0.05, ** significativo p<0.01, *** significativo p< 0.001 ****significativo p< 0.0001.

Curvas de acumulación de nutrimentos

Las curvas de la absorción acumulada de nutrimentos en la planta se muestran en la Figura 3. De acuerdo a Tun (2001), una hectárea establecida con 25000 plantas de chile habanero extrajo 214, 135 y 225 kg de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Valor similar fue encontrado para N (211 kg ha⁻¹), en contraste para P₂O₅ y K₂O las extracciones fueron 50 y 165 kg ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo la dinámica de extracción fue similar tanto en los resultados reportados por Tun (2001), como en los resultados de Bravo *et al.* (2004) y Noronha *et al.* (2004) en chile seco y pimiento dulce, respectivamente. Los mayores incrementos en la acumulación de N y K ocurrieron a partir de los 75 días después del trasplante, etapa que correspondió al inicio de la fructificación y con la cual se incrementa la producción de biomasa total. El mayor porcentaje de acumulación para Cu, Mn y Fe se observó en la tercera etapa de desarrollo (100 DDT), y para Zn la mayor acumulación se observó en la última etapa (120 DDT). Aún cuando son escasos los estudios realizados sobre la importancia de los micronutrimentos, en la nutrición del chile habanero es conocido que el Fe es uno de los elementos al que es muy susceptible. Borges y Noh (2001) reportaron que a los 40 DDT la planta ha acumulado 0.871 kg ha⁻¹. Los resultados de este estudio mostraron que al

finalizar su ciclo se tuvo una acumulación de Fe de 2.2 kg ha⁻¹.

Uso eficiente de la fertilización de NPK

Los resultados obtenidos respecto a la eficiencia de absorción (EA) de los nutrimentos N, P₂O₅ y K₂O en relación a la dosis de fertilización realizada mostraron que la fertilización realizada no siempre cubrió la demanda del cultivo (Figura 4). En este sentido, la fertilización realizada de N, P₂O₅ y K₂O hasta la II etapa de desarrollo de la planta (75 DDT) excedió a la demanda del cultivo; sin embargo, en las etapas III y IV la fertilización con N y K₂O fue insuficiente, pues la planta demandó una cantidad mayor a la incorporada al suelo. Para P₂O₅ la fertilización excedió siempre a los requerimientos del cultivo. Según los resultados obtenidos, con la fertilización total aplicada (130, 120 y 160 de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) la planta acumuló 213, 50 y 174 de N, P₂O₅ y K₂O de estos, lo cual significa que una parte de los nutrimentos de N y K₂O fueron aportados por el suelo para cubrir la demanda del cultivo, mientras que para P₂O₅, la planta demandó una cantidad menor a la incorporada al suelo aprovechando únicamente el 42 % de la fertilización aplicada.

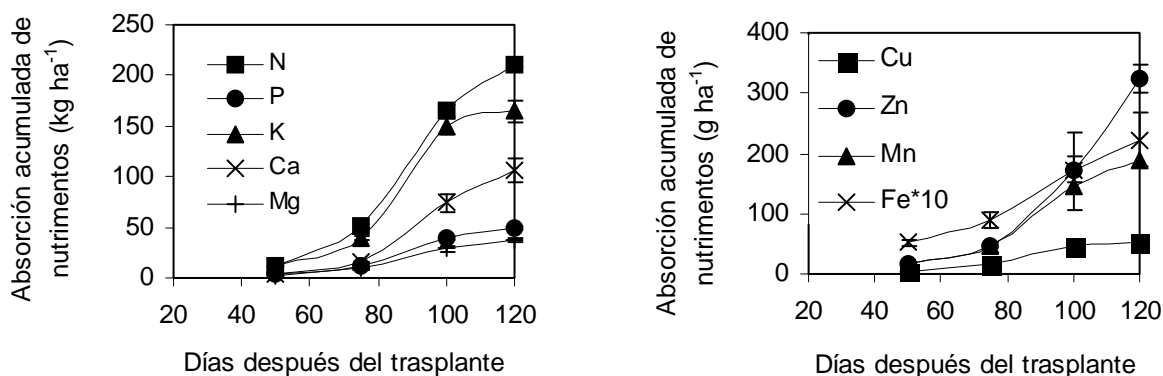


Figura 3. Acumulación de nutrimentos en el cultivo de chile habanero con una densidad de 25000 plantas por hectárea.

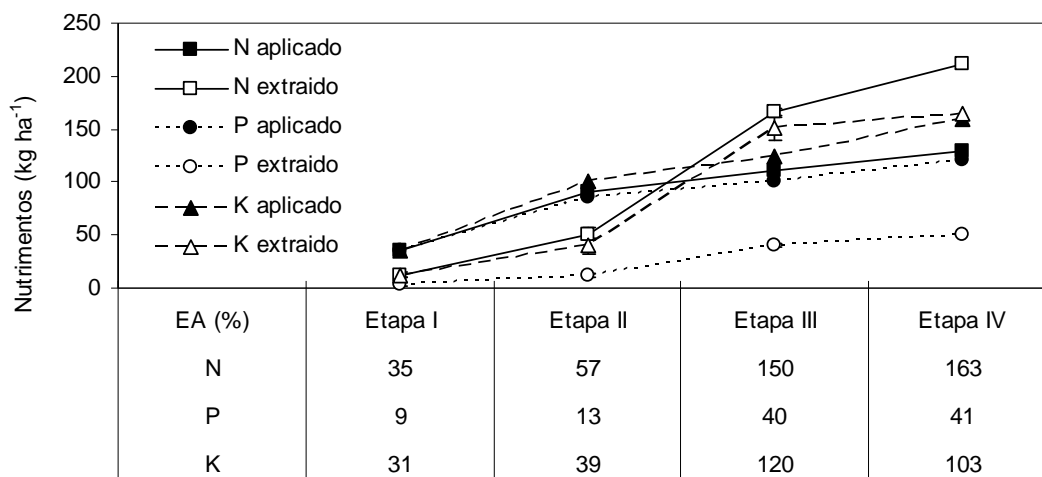


Figura 4. Porcentaje de eficiencia de absorción de nitrógeno, fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) en diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

CONCLUSIONES

Aún cuando en la práctica el análisis de tejido es más difundido y comúnmente utilizado, el patrón existente de correspondencia entre ésta forma analíticas y el realizado en el extracto celular de tejidos vasculares permite el uso de este último como una herramienta rápida de diagnóstico.

Las relaciones existentes observadas entre la concentración de nutrientes en tejido seco y extracto celular podrían ser utilizadas como un principio en la búsqueda de los niveles óptimos de referencia del chile habanero. Las relaciones entre ambas formas analíticas tuvieron de acuerdo a los valores de r el siguiente orden $P > N = K > Cu > Zn > Ca > Mn$ y no se observaron relaciones en Mg y Fe entre las concentraciones de tejido y extracto celular.

Las interacciones entre nutrientes en tejido y en extracto celular dependieron de las funciones metabólicas de estos en la planta. Un mayor número de interacciones se observó en tejido en comparación a las interacciones observadas en el extracto celular.

La eficiencia de absorción de los nutrientes aplicados sugiere realizar estudios sobre el momento más oportuno de incorporación de los nutrientes y evaluar dosis requeridas de N, P_2O_5 , K_2O que cubran de manera eficiente las etapas del cultivo más demandantes.

REFERENCIAS

Badillo-Tovar, V., Castellanos, J.Z., Sanchez-García, P., Calvin-Spinola, A., Alvarez- Sanchez, E., Uvalle-Bueno, J.X., González-Eguiarte, D.,

Enriquez-Reyes, S.A. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. alpha. *Agrociencia*. 53:615-623.

Borrell, A.K., Hammer, G.L. 2000. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Science*. 40:1295-1307.

Borges, G.L., Noh, M.J. 2001. Nutrición mineral y fertilización. pp. 43-51. *En: Memorias de Seminario de chile habanero*. SAGARPA. INIFAP. Mérida, Yucatán. México.

Bravo, L., Mojarro, D., Cabañas, C., Domingo. 2004. Dinámica de la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en fertirriego en chile seco (*Capsicum annum* L.) en Zacatecas, México. *Primera Convención mundial del chile*. pp. 468-474.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen. pp 1149-1178. *In: Methods of soil analysis*. Part 2. *Agronomy 9*. C.A. Black (ed) American Society of Agronomy. Madison WI, USA.

Brisuela-Amador, P.B., Alcántar-González, G., Sanchez-García, P., Tijerina-Chavez, L., Castellanos-Ramos, J.Z; Maldonado-Torres, R. 2005. Nitratos en soluciones nutritivas en el extracto celular de pecíolo de chile. *Terra Latinoamericana*. 23:469-476.

Burgueño, H. 1994. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. *BURSAG*. S.A. de C.V. vol III. Culiacán, Sinaloa, México. 70 p.

- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundiprensa. Madrid. 463 p.
- Chaudhary, M.I., Adu-Gyamfi, J.J., Saneoka, H., Nguyen N.T., Suwa, R., Kanai, S., El-Shemy, H.A., Lightfoot, D.A., Fujita, K. 2008. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. *Acta Physiologica Plantarum*. 30:537-544.
- Chávez, S.N., Berzoza, M.M., Cueto, W.J.A. 2000. Respuesta del chile jalapeño a la fertirrigación con nitrógeno, fósforo y potasio en riego por goteo. X Congreso Nacional de Irrigación. Chihuahua, Chih. México. pp. 118-124.
- Covarrubias-Ramirez, J.M., Castillo-Aguilar, S., Vera-Núñez, J.A., Núñez-Escobar, R., Sánchez-García, P., Aveldaño-Sañazar, R., Peña-Cabrales, J.J. 2005. Absorción y eficiencia del uso de P en papa cultivar Alpha con ^{32}P . *Agrociencia*. 39:127-136.
- Etchevers, B.J. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra*: 209-219.
- Herren, T., Feller, U. 1996. Effect of locally increased zinc contents on zinc transport from the flag leaf lamina to the maturing grains of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 19:379-387.
- Järvan, M., Pöldma, P. 2004. Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime materials used for neutralizing bog peat. *Agronomy Research*. 2:39-48.
- Kallenbach, R.L. 2000. Field use of an ion-specific electrode to measure the potassium concentration in alfalfa. *Crop Science*. 40:772-777.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed Academic Press. London, U.K. 889 p.
- Nable, R.O., Loneragan, J.F. 1984. Translocation of Manganese in Subterranean Clover (*Trifolium subterraneum* L. Cv. Seaton Park). II. Effect of Leaf Senescence and of Restricting Supply of Manganese to Part of a Split Root System. *Australian Journal of Plant Physiology*. 11: 113 - 118
- Noronha, M.F.F., Villas, B.R., Grava, G.L.J.; Goto, R. 2004. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Scientia Agricola Piracicaba Brazil*. 61: 62-68.
- Page, V., Feller, U. 2005. Selective transport of zinc, manganese, nickel, cobalt and cadmium in the root system and transfer to the leaves in young wheat plants. *Annals of Botany*. 96:425-434.
- Rangel-Lucio, J.A., Alcantar, G.G.A., Castellanos, R.J.Z., García, M.E., Trejo, L.C., Vaquera, H.H. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20:383-390.
- Terry, L.R. 2008. Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*. 32:177-182
- Tun, D.C. 2001. Características y Tecnología de Producción del chile habanero. SAGARPA. INIFAP-PRODUCE. Mérida Yuc. México. 74 p.
- Véry, A.A., Sentenac, H. 2003. Molecular mechanisms and regulation of K^+ transport in higher Plants. *Annual Review Plant Biology*. 54: 575-603.
- Volke, V., Etchevers, J.D., Sanjuan, A., Silva, T. 1997. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra* 16:79-91.

Submitted June 16, 2009 – Accepted September 25, 2009
Revised received October 04, 2009