

INFLUENCIA DE LA PRESIÓN OSMÓTICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA ABSORCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS

Oscar Gabriel Villegas Torres^{1*}, Carlos Manuel Acosta Durán¹, Irán Alia Tejacal¹, Víctor López Martínez¹, María Andrade Rodríguez¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62209.

Correo electrónico: voscar66@yahoo.com.mx

*Autor para correspondencia

RESUMEN

La concentración total de solutos de una solución nutritiva se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, presión osmótica o potencial osmótico; cada uno de estos conceptos encierra implicaciones diferentes desde el punto de vista físico-químico; independientemente de ello, su importancia radica en que influye en la absorción de los nutrimentos por las plantas y, en consecuencia, afecta la morfología y la calidad de los productos, por lo tanto, en cualquier sistema de producción hidropónica, es una característica que se debe tomar en cuenta con la finalidad de optimizar la respuesta de los cultivos.

Palabras clave: *nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, conductividad eléctrica.*

ABSTRACT

The total concentration of solids of a nutrient solution can be expressed in

terms of electrical conductivity, osmotic pressure or osmotic potential; each one of these concepts locks up implications different from the point of view physical-chemistry; independently of it, its importance is in that influences in the absorption of the nutrients by the plants and, consequently, it affects the morphology and the quality of products, therefore, in any hydroponic production system, it is a characteristic that is due to take into account with the purpose of optimizing the answer of the cultures.

Key words: *nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, electrical conductivity.*

INTRODUCCIÓN

La concentración total de solutos en la solución nutritiva está caracterizada por la conductividad eléctrica (CE), una propiedad físico-química inherente de las soluciones que mide la facilidad con la que un medio acuoso transmite la electricidad y puede relacionarse directamente con la concentración de sales. Se expresa en deciSiemens por metro (dS m⁻¹), en

miliSiemens por centímetro (mS cm^{-1}) o en milimhos por centímetro (mmhos cm^{-1}) a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. La CE es una medida indirecta y empírica de la presión osmótica (PO); puede obtenerse al multiplicar $\text{CE} \times 0.36$ (unidad: atmósferas, atm), o bien, $\text{CE} \times -0.036$ para expresarse como potencial osmótico (Pos) (unidad: megapascales, MPa) (Aguilera y Martínez, 1996). Esta propiedad físico-química de las soluciones nutritivas afecta considerablemente la absorción de los diferentes iones en función del tipo de nutrimento, de la concentración absoluta y la relativa, de la especie, la variedad y la etapa fenológica.

Efecto de la presión osmótica en la absorción nutrimental

La PO de la solución nutritiva es una propiedad físico-química de las soluciones, la cual depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos. La importancia de ésta en una solución nutritiva es que al aumentar dicha PO, debido al incremento en el contenido de nutrimentos o de otros iones, la planta debe de efectuar un mayor esfuerzo para absorber agua y algunos nutrimentos (Marschner, 2002).

Nitrato

Martínez (1999) evaluó el efecto de las PO 0.72, 0.92 y 1.12 atm de la solución nutritiva en la concentración de N en la planta de *Alstroemeria* cv. Mona Lisa. Se presentaron diferencias significativas en la absorción de este nutrimento en dependencia de la PO. La concentración se incrementó conforme se aumentó la PO: con 0.72 atm, la concentración de N en la planta fue de 2.51%; 0.92 atm, 2.83% y con 1.12 atm, 3.15%.

Albu-Yaron *et al.* (1993) reportan que la calidad del fruto y del extracto tisular de tomates (cv. VF M82-1-8) en un sistema aerohidropónico en un invernadero fue afectado por las

concentraciones de Cl^- y NO_3^- , y por la PO de la solución nutritiva. El contenido de sólidos totales en el extracto fresco se incrementaron de 4.0 $^{\circ}\text{Brix}$ en las soluciones no salinas (PO aprox. 0.5 atm) a 5.6-5.8 $^{\circ}\text{Brix}$ en las soluciones salinas (PO aprox. 4.5 atm). La acidez del extracto también se afectó de manera similar por el Cl^- , NO_3^- y los niveles de PO en la solución nutritiva. El contenido de ácido ascórbico en el extracto fue de 8-9 mg/100 mL en los tratamientos con el mayor contenido de NO_3^- y soluciones no salinas, y entre 10-12 mg/100 mL en los PO más altos (2.0 atm). La concentración de NO_3^- en el extracto fue de 60 mg L^{-1} en PO de 0.5 a 1.0 atm, especialmente cuando se combinó con concentraciones altas de NO_3^- , y de $8\text{-}30\text{ mg L}^{-1}$ en plantas expuestas a condiciones salinas (PO alto). El fruto comercializable se redujo sensiblemente por la salinidad y no se afectó por la relación $\text{NO}_3^-:\text{Cl}^-$, mientras la firmeza se alteró por ambos factores.

Lara (1998) señala que en las plántulas de tomate cv. Humaya, la concentración de N no fue estadísticamente diferente en las PO de 0.73 y 0.97 atm.

Sagi *et al.* (1997) regaron plantas de *Lolium multiflorum* con soluciones nutritivas con 0.5-0.9 mM de N como nitrato de sodio, nitrato de amonio o sulfato de amonio y una conductividad eléctrica de 2 o 11.2 dS m^{-1} . La concentración de cationes inorgánicos totales (C) y específicamente el sodio (Na) fue tres veces más alta en las plantas que crecieron en la solución nutritiva con la mayor salinidad. La concentración de Na en la raíz fue superior a la concentración en el tallo, independientemente del nivel de salinidad de la solución nutritiva, lo cual sugirió una restricción del transporte de Na de las raíces a los tallos. La concentración de aniones inorgánicos totales (A) se incrementó con el nivel de salinidad. Cuando las plantas se nutrieron con

nitrito, la salinidad incrementó las concentraciones de nitrato y cloruro en la planta. Al incrementar la salinidad y concentración de N en la solución nutritiva, se incrementó la concentración de aniones orgánicos. El efecto de las diferentes fuentes de N sobre la relación C-A siguió el orden: $\text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NO}_3 > \text{NH}_4$. Cambios en C afectaron el metabolismo de los ácidos orgánicos y N, a pesar del nivel de salinidad y fuente de N en la solución nutritiva. Se encontró una alta y positiva dependencia lineal entre el N orgánico (Norg) y C-A en plantas en soluciones nutritivas con altos y bajos niveles de salinidad y diferentes fuentes de N, lo cual sugiere una estrecha relación entre Norg y aniones orgánicos en el metabolismo en estas condiciones. La biomasa se correlacionó positivamente con la concentración de aniones orgánicos en las plantas. El crecimiento de las plantas se incrementó con las dosis de N a pesar de los niveles de salinidad. La acumulación de biomasa disminuyó mientras la concentración de Norg se incrementó con la salinidad.

Villegas *et al.* (2003) probaron diferentes PO de la solución nutritiva. Con 0.92 y 1.12 atm se incrementó la concentración de N en las plántulas de tomate cv. Gabriela en 8.7 y 9.1%, respectivamente. Con 0.72 atm, la concentración de este nutriente fue significativamente inferior (8.0%)

Fósforo

Tarakcioglu e Inal (2002) evaluaron los efectos del Na, Cl, NaCl y concentración de macronutrientes en la acumulación de iones y prolina, actividad de la nitrato reductasa y el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*). Las soluciones nutritivas se prepararon con incrementos de la concentración de sal de una solución nutritiva base con 40 mM de NaCl y cinco relaciones de Na/Cl (100/0, 75/25, 50/50, 25/75) y 2.5 veces los macronutrientes.

En relación con fósforo, la concentración de este nutriente en la planta se incrementó con la presencia de Na en la solución nutritiva. La concentración de K en la planta y la relación K/Na disminuyó por efecto del NaCl e incrementos de Na en la solución nutritiva. El incremento de la PO de la solución nutritiva disminuyó la concentración de Ca en la planta.

Martínez (1999) reporta que la PO de la solución nutritiva de 1.12 atm aumentó (0.36%) la concentración de fósforo en la planta de *Alstroemeria* cv. Mona Lisa; mientras que, con 0.72 y 0.92 atm, la concentración de este elemento fue significativamente menor (0.25%).

Armenta (1998) menciona que en plántulas de tomate, la absorción de fósforo fue significativamente mayor ($0.0758 \text{ mg plántula}^{-1}$) en PO de la solución nutritiva de 0.7 atm, que con 0.5 atm ($0.0661 \text{ mg plántula}^{-1}$) y 0.9 atm ($0.0678 \text{ mg plántula}^{-1}$).

Lara (1998) señala que en plántulas de tomate cv. Humaya, la concentración de fósforo no fue estadísticamente diferente cuando la PO de la solución nutritiva fue de 0.73 y 0.97 atm.

Villegas *et al.* (2003) indican que con PO de la solución nutritiva de 1.12 atm, se incrementó la concentración de fósforo (1.3%) en plántulas de tomate cv. Gabriela; con 0.72 y 0.92 atm, la concentración fue de 1.0 y 1.1%, respectivamente.

Potasio

Martínez (1999) indica que en *Alstroemeria* cv. Mona Lisa la absorción de potasio se afectó significativamente por el PO de la solución nutritiva. Con 1.12 atm, la concentración de este nutriente fue de 3.91%, con 0.72 atm, de 3.435 y con 0.92 atm, 2.85%.

Sugiyama *et al.* (1999) monitorearon los cambios en la concentración de ácido oxálico en respuesta al estrés de agua para evaluar la contribución de este ácido en el ajuste osmótico en plantas de espinaca cv. Okame en hidroponía con soluciones standard o en soluciones con polietilenglicol (PEG) 6000. El potasio y el ácido oxálico son los solutos predominantes en las hojas de la espinaca. Los resultados fueron que la adición de PEG 6000 a la solución nutritiva disminuyó significativamente el potencial osmótico a la máxima turgencia (π_{100}) en hojas con rápido crecimiento. La disminución en π_{100} en respuesta al tratamiento con PEG se puede explicar por la acumulación de potasio, fosfato, nitrato, azúcares y aminoácidos, pero no al ácido oxálico. Estos resultados indican que el ácido oxálico no contribuye al ajuste osmótico, aunque el oxalato de potasio es el mayor osmolito en las hojas de espinaca.

Lara (1998) menciona que la concentración de potasio en las plántulas de tomate cv. Humaya no fue estadísticamente diferente cuando la PO de la solución nutritiva fue de 0.73 y 0.97 atm.

Villegas *et al.* (2003) indican que la concentración de potasio en las plántulas de tomate cv. Gabriela no fue estadísticamente diferente con PO de la solución nutritiva de 0.72, 0.92 y 1.12 atm.

Calcio

Nederhoff (1999) indica que en variedades de tomate Tanaki y Red Bluff, con una CE alta en el día (8 mS cm^{-1}) y baja (2 mS cm^{-1}) en la noche, se incrementó la incidencia de BER y tendió a reducirse el contenido de calcio en el fruto. En este sentido, Ehret and Ho (1986) también mencionan que una alta CE disminuye la absorción y transporte de

calcio al fruto e incrementa la incidencia de BER.

Ho (1989) midió la absorción y distribución diurna de ^{45}Ca en plantas jóvenes de tomate (cv. Counter) en la etapa de fructificación, 12 o 24 h después de que el ^{45}Ca fue suministrado en la solución nutritiva al iniciar el periodo de luz (12 h) o de oscuridad (12 h). Durante el experimento, la salinidad de la solución nutritiva (medida como conductividad eléctrica, CE) fue de 2.5 o 17 mS cm^{-1} y la humedad relativa (medida como déficit de presión de vapor, DPV) fue de 0.2 o 0.6 kPa . Los resultados fueron los siguientes: la diferencia en la absorción total y el porcentaje de distribución de ^{45}Ca entre los órganos debido a la aplicación de ^{45}Ca en el inicio del periodo de luz o de oscuridad, es resultado del efecto diurno. La absorción de ^{45}Ca por las plantas en la luz fue ligeramente mayor que en la oscuridad. Cuando la humedad relativa fue alta, la absorción en la oscuridad se reduce, lo que incrementa la diferencia con la absorción en la luz. En CE de 17 mS cm^{-1} se reduce la absorción de ^{45}Ca y, de la solución nutritiva, por las plantas en comparación con 2.5 mS cm^{-1} . En un periodo de 12 h, más del 65% del Ca^{2+} se localiza en las raíces y el porcentaje se incrementa en la oscuridad. Debido a la baja tasa de transpiración de la planta en la oscuridad, es probable, que tanto la absorción como el movimiento ascendente del calcio sea menor en la oscuridad que en la luz.

Martínez (1999) menciona que en *Alstroemeria* cv. Mona Lisa con PO de la solución nutritiva de 1.12 atm, la concentración de este nutrimento fue significativamente mayor (1.66%). Con una PO de 0.72 atm, la concentración de Ca fue de 1.17%, y con 0.92 atm, de 1.05%.

Gomes *et al.* (1996) cuantificaron el diámetro de tallo, altura de planta, peso de

materia seca de hojas, tallo y total, y concentración de K, Mg, N orgánico y Ca en tallo y hojas de plantas de *Boehmeria nivea* en soluciones nutritivas con seis concentraciones de Ca (0.6, 2.0, 6.0, 12.0, 15.0 o 18 mM) administrados como $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y CaCl_2 . Los resultados que obtuvieron indican que los valores más bajos de los parámetros evaluados se obtuvieron con la mayor concentración de Ca, posiblemente debido a la competencia entre los iones Ca, Mg y K y entre Cl y NO_3 , pero también debido a la toxicidad por cloro y la mayor PO de la solución.

Armenta (1998) indica que la menor absorción de Ca por plántulas de tomate se obtuvo con la mayor PO de la solución nutritiva (0.9 atm), en relación con 0.5 y 0.7 atm.

Lara (1998) señala que en el cv. Humaya no hubo diferencias significativas en la concentración de Ca en las plántulas sometidas a 0.73 y 0.97 atm de PO de la solución nutritiva.

Zhong y Lauchli (1994) evaluaron el efecto de NaCl y CaCl_2 en la distribución espacial de K, Na y Ca y sus tasas de deposición en la zona de crecimiento de raíces primarias de plántulas de algodón cv. Acala. Se usó la solución nutritiva Hoagland con y sin 150 mM de NaCl y 10 mM de CaCl_2 . El potencial osmótico del tejido fue esencialmente uniforme a lo largo de la región de crecimiento en todos los tratamientos y fue considerablemente disminuido por 150 mM de NaCl en el medio. La presencia de 150 mM de NaCl redujo considerablemente las tasas de deposición de K y Ca en la zona de crecimiento; 10 mM de Ca disminuyó este efecto solo en la deposición de K en 2.5 mm de la región apical. La tasa de deposición de Na fue significativamente incrementada por 150 mM de NaCl, este incremento fue reducido por 10 mM de Ca. Con 150 mM de NaCl, la selectividad de K vs. Na en la raíz fue significativamente incrementada en 2 mm de la región apical

por la presencia de 10 mM de Ca; este efecto mitigante del Ca disminuye rápidamente conforme se aleja del ápice. Los investigadores concluyen que el posible mecanismo por el cual el Ca reduce el efecto inhibitorio del NaCl en el crecimiento de las raíces de algodón es manteniendo la selectividad de la membrana de K sobre el Na.

Villegas *et al.* (2003) mencionan que la concentración de calcio en plántulas del cv. Gabriela en PO de 0.72, 0.92 y 1.12 atm no fueron estadísticamente diferentes; la concentraciones fueron 4.5, 4.4 y 4.8%, respectivamente.

CONCLUSIONES

La presión osmótica es una propiedad físico-química inherente a las soluciones nutritivas que afecta la absorción de los nutrimentos en función del tipo de nutrimento, especie, variedad y etapa fenológica, en consecuencia, afecta la morfología y la calidad de los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) a través del proyecto de investigación con número de folio UAEMOR-PTC-167.

LITERATURA CITADA

- Albu-Yaron, A., A. Feigin, and I. Rylski. 1993. The quality of tomato for canning as affected by combined chloride, nitrate and osmotic potential of the nutrient solution. *Plant Foods for Human Nutrition* 43: 201-210.
- Armenta B., A. D. 1998. Relaciones óptimas de aniones y de cationes en la solución nutritiva en riego por goteo para la producción de tomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Gomes, P. C., M. A. Drumond, P. R. G. Pereira, P. C. R. Fontes, H. E. P. Martínez. 1996. Yields, mineral composition and critical level of calcium in ramie (*Boehmeria nivea* Gaud.) grown in nutrient solution. *Revista Ceres* 43: 281-287.
- Ho, L. C. 1989. Environmental effects on the diurnal accumulation of ^{45}Ca by young fruit and leaves of tomato plants. *Ann. Bot.* 63: 281-288.
- Lara H., A. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. ed. Academic Press. London, England. 889 p.
- Martínez B., N. 1999. Estudio nutrimental de *Alstroemeria* híbrida en hidroponía. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Nederhoff, E. 1999. Effects of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality and production of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 481:495-502.
- Sagi, M., A. Dovrat, T. Kipnis, and H. Lips. 1997. Ion balance, biomass production, and organic nitrogen as affected by salinity and nitrogen source in annual ryegrass. *J. Plant Nutr.* 20: 1291-1316.
- Sugiyama, N., M. Hayashi, and M. Uehara. 1999. Effect of water stress on oxalic acid concentrations in spinach leaves. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 68: 1155-1157.
- Tarakcioglu, C. and A. Inal. 2002. Changes induced by salinity, demarcating specific ion ratio (Na/Cl) and osmolality in ion and proline accumulation, nitrate reductase activity, and growth performance of lettuce. *J. Plant Nutr.* 25: 27-41.
- Villegas-Torres, O. G., P. Sánchez-García, G. A. Baca-Castillo, M. N. Rodríguez-Mendoza, C. Trejo-López, M. Sandoval-Villa y E. Cárdenas-Soriano. 2003. Crecimiento y estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México.
- Zhong, H. L. and A. Lauchli. 1994. Spatial distribution of solutes, K, Na, Ca and their deposition rates in the growth zone of primary cotton roots: effects of NaCl and CaCl_2 . *Planta* 194: 34-41.