

LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EL RENDIMIENTO

Una solución nutritiva es aquella que contiene una concentración conocida de nutrimentos disueltos, y consiste en agua con oxígeno, nutrimentos esenciales en forma iónica y compuestos orgánicos como los quelatos de hierro (Steiner, 1968). Estas soluciones pueden utilizarse en todos los sistemas de producción, desde aplicaciones en suelo, a campo abierto o en invernadero, mediante la técnica conocida como fertirriego; hasta sistemas de producción sin suelo (hidroponía), donde las raíces de las plantas son ubicadas directamente dentro de la solución nutritiva, o bien, la solución nutritiva es asperjada sobre éstas (areoponía). Sin mencionar, que estas soluciones también pueden ser aplicadas vía foliar, pero únicamente como complemento de la nutrición de la planta (corrección de deficiencias). Existen una variedad de soluciones nutritivas y la mayoría de ellas son empíricas (Cuadro 1), las cuales fueron evaluadas para ciertos cultivos.

Cuadro 1. Intervalos de concentración de elementos minerales esenciales de acuerdo con varios autores (Adaptado de Cooper, 1988; Steiner, 1984; Windsor y Schwarz, 1990).

Nutrimento	Hoagland & Arnon	Hewitt	Cooper	Steiner
	(1938)	(1966)	(1979)	(1984)
	mgL ⁻¹			
N	210	168	200-236	168
P	31	41	60	31
K	234	156	300	273
Ca	160	160	170-185	180
Mg	34	36	50	48
S	64	48	68	336
Fe	2.5	2.8	12	2-4
Cu	0.02	0.064	0.1	0.02
Zn	0.05	0.065	0.1	0.11
Mn	0.5	0.54	2.0	0.62
B	0.5	0.54	0.3	0.44
Mo	0.01	0.04	0.2	-

Todos los nutrimentos adicionados en la solución nutritiva deben estar disueltos para estar en forma disponible para las plantas, ya que si alguno precipita pueden ocasionar un desbalance iónico en la solución que puede promover deficiencias de dicho nutrimento (Steiner, 1961). En hidroponía, todos los requerimientos nutrimentales que tienen las plantas son cubiertas con los nutrimentos adicionados en la solución nutritiva. Por su parte, en sistemas de producción sobre suelo u otro material, la solución nutritiva aporta únicamente los nutrimentos faltantes que requiere el cultivo para su óptima nutrición.

La cantidad de nutrimentos que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Adams, 1994). Las principales características de las soluciones nutritivas que influyen en el desarrollo de los cultivos son: *la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ y su temperatura* (Steiner, 1984).

Relación mutua entre cationes y aniones

Esta característica hace alusión a un equilibrio entre los cationes y aniones adicionados a las soluciones nutritivas. Steiner (1961) menciona que el balance entre estos iones no solo es cuestión de cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra. Además, los nutrimentos que demanda la planta en la relación mutua entre aniones y entre cationes, depende de la etapa fenológica. Un ejemplo de estas relaciones se presenta en el Cuadro 2, donde se muestran las relaciones porcentuales entre cationes y aniones para tomate en hidroponía. La variabilidad de los datos se adjudica a diferentes ambientes de producción y etapas fenológicas del cultivo.

Cuadro 2. Relación mutua entre aniones y entre cationes con base en el porcentaje respecto del total de aniones o cationes requeridos para jitomate en invernadero (Adaptado de Lara, 1999).

Solución	Aniones			Cationes			
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
	Relación porcentual en $\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$						
Hoagland y Arnon (1950)	74	5	21	32	42	21	5
Steiner (1961)	60	5	35	35	45	20	-
Graves (1983)	50	6	44	40	44	16	-

Concentración de nutrimentos (CE)

La concentración de nutrimentos está relacionada con la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva. Si aumenta la CE, la planta requiere mayor energía para absorber los nutrimentos y agua, por lo que puede disminuir el desarrollo de la planta. La CE de la solución nutritiva influye en la composición química de las plantas, al aumentar la CE aumenta la concentración de K en las plantas a expensas principalmente de Ca^{2+} . También se incrementa la concentración de P y en menor medida la de NO_3^- , ambos a costa de SO_4^{2-} . Este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo (Steiner, 1973). Al aumentar la CE de la solución nutritiva a más de 6 dS m^{-1} , además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación K^+ : ($\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+$), ocasionando desbalances nutrimentales que pueden inducir toxicidades o deficiencias nutrimentales, al igual que si la CE disminuye (menor a 2 dS m^{-1}).

pH

El pH óptimo de las soluciones nutritivas se encuentra entre 5.5 y 6.0. Dicho intervalo de pH promueve un adecuado contenido de carbonatos en la solución nutritiva, ya que a un pH mayor a 8.3, se incrementa el contenido de éstos y por consecuencia el calcio y magnesio se precipitan. Asimismo, si el pH de la solución nutritiva es menor de 3.8, se incrementa el contenido de ácido carbónico, el cual es tóxico para las plantas en cantidades mayores a 10 molc m⁻³. Además, en soluciones nutritivas con pH mayores a 6.0, el fósforo pasa a formas no disponibles para las plantas o bien se precipita.

Relación NO₃⁻: NH₄⁺

El nitrato (NO₃⁻) es la principal forma química en que las plantas se abastecen de nitrógeno; sin embargo, una pequeña fracción en la forma de amonio (NH₄⁺) presenta algunos beneficios en la nutrición de las plantas. Cuando se administra el nitrógeno en forma de NO₃⁻, las raíces liberan iones OH⁻ y HCO₃⁻ a la solución nutritiva, sintetizándose aniones de ácidos orgánicos que mantiene el balance de cargas y el pH en la vacuola (Marschner, 1995). El pH de la solución nutritivas se amortigua cuando una parte del nitrógeno se adiciona en forma de NH₄⁺, pero su asimilación debe ser inmediata ya que es tóxico para la planta, lo que provoca un consumo de energía por la planta. La asimilación de NH₄⁺ en días nublados supone una reducción del rendimiento (Veen y Kleimendort, 1985), sin embargo, la adición de NH₄⁺ en porcentajes próximos a 20% producen rendimientos mayores, como en el caso de jitomate (Sasseville y Mills, 1979).

Temperatura

La solución nutritiva, además de presentar sales disueltas (nutrimentos), también contiene oxígeno disuelto, el cual se requiere para el desarrollo de las plantas. A temperaturas menores que 22 °C, este oxígeno disuelto es suficiente para abastecer la demanda de la planta (Figura1); sin embargo, el requerimiento es pequeño debido la reducción de la velocidad de varios procesos fisiológicos (respiración, etc.),

disminuyendo con ello la absorción de nutrimentos y, por ende, el crecimiento de la planta. Por lo tanto, es necesario evitar temperaturas menores que 15 °C para prevenir la reducción de la absorción de nutrimentos (Moorby y Graves, 1980). Por otro lado, temperaturas mayores que 22 °C inducen grandes demandas de oxígeno por la planta, las cuales no son satisfechas por la solución nutritiva, puesto que, a mayor temperatura, mayor será la difusión de este gas.

Un inapropiado manejo de la solución nutritiva en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Lara, 1999).

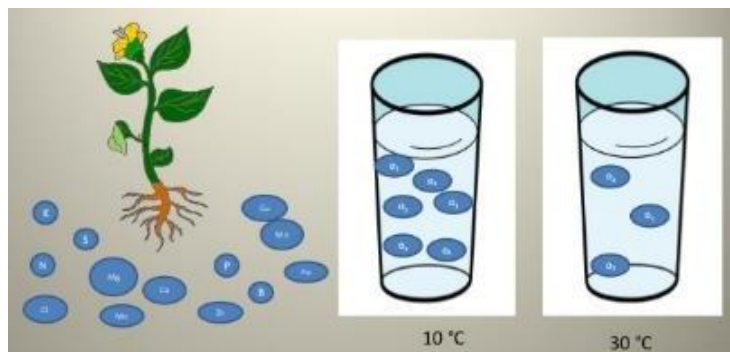


Figura 1. Disponibilidad de oxígeno en la solución nutritiva con la temperatura.



Fuentes

- Adams, P. 1994. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 366: 405-416.
- Cooper, A. 1988. "1. The system. 2. Operation of the system". *In: The ABC of NFT. Nutrient Film Technique*, Grower Books (ed.). London, England. 3-123 pp.
- Favela C., E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) – Unidad Laguna. Torreón, Coahuila.
- Graves, C.J. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5: 1-44.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3):221-229.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Ed. Academic Press. San Diego, Ca., USA.
- Moorby, J. y C. J. Graves. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. *Acta Hort.* 98: 29-43.
- Sasseville, D. N. y H. A. Mills. 1979. N from and concentration: effects on N absorption growth, and total N accumulation with southern peas. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 104: 586-591.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A. A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. *In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute.* Florence, Italy.
- Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-53. *In: Proceedings 3rd International Congress on Soilles Culture.* Wageningen, The Netherlands.
- Steiner, A. A. 1984. The Universal Nutrient Solution, *Proceedings of IWOSC 1984 6th International Congress on Soilless Culture.* Wageningen, The Netherlands, 633-650 pp.
- Veen, B. W. y A. Kleimendort. 1985. Nitrate accumulation and osmotic regulation in Italian rygrass (*Loilum multiflorum* Lam.). *J. Exp. Bot.* 36: 211-218.
- Windsor, G. y M. Schwarz. 1990. *Soilless Culture for Horticultural Crop Production.* FAO, Plant Production and Protection. Paper 101. Roma, Italia.