

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS

CASO JITOMATE

Diversos investigadores que trabajan con hidroponía y fertirriego han propuesto infinidad de fórmulas de solución nutritiva para el desarrollo adecuado de varios cultivos, donde describen las fuentes de nutrimentos y su concentración final en la solución. Sin embargo, la composición y concentración óptima en una solución nutritiva es aquella que considera para su preparación: las condiciones climáticas (temperatura y luz, principalmente), la calidad del agua utilizada, los requerimientos nutrimentales e hídricos del cultivo en cuestión, así como su edad o etapa fenológica. También hay que considerar el sistema de producción, ya que puede ser cerrado (Figura 1); donde existe recirculación de la solución nutritiva, o abierto, donde no existe dicha recirculación de la solución. Todos estos factores hacen imposible la existencia de una solución nutritiva útil para todos los cultivos y condiciones ambientales (FAO, 1990; Resh, 1992).



Figura 1. Producción de jitomate bajo un sistema hidropónico cerrado.

Existen varios estudios donde han evaluado diferentes concentraciones de nutrimentos en solución y han encontrado que, en cualquiera que sea el sistema; cerrado o abierto, el rendimiento no es afectado significativamente al usar concentraciones menores de nutrimentos que las usualmente utilizan en estos sistemas de producción. En algunos casos (crisantemo en sistema abierto), se ha demostrado que la concentración recomendada de nutrimentos (N, P, K) en

las soluciones nutritivas puede disminuirse al 50%, sin que el cultivo presente deficiencias nutrimentales y con la misma calidad comercial (Pineda y Sánchez, 1998).

La mayoría de las investigaciones sobre soluciones nutritivas se han enfocado en determinar las cantidades óptimas de nutrientes para cubrir las necesidades del cultivo y determinar como varían estas necesidades nutrimentales según su etapa fenológica, con el objetivo de aprovechar eficientemente el agua y los fertilizantes a lo largo del ciclo productivo, evitando pérdidas económicas y disminuyendo los efectos negativos de la agricultura en el ambiente.

Sistemas hidropónicos cerrados

Cuadro 2. Requerimiento de agua para producir 1 kg de jitomate en un invernadero de cristal con control avanzado y calefacción, y con aplicación de CO₂ bajo diferentes sistemas de producción en Holanda (Salazar *et al.*, 2014).

Sistema de producción	litros de agua / kilogramo jitomate
Suelo	22
Hidropónico abierto	15
Hidropónico cerrado	4

El sistema hidropónico cerrado, que funciona recirculando la solución nutritiva, es quizá la alternativa más viable para la producción en sistemas hidropónicos, ya que no perjudica el ambiente con los excesos de químicos utilizados en los sistemas hidropónicos y disminuye los costos de producción,

al reutilizar los excedentes de nutrientes y agua, produciendo con menos agua y nutrientes (Cuadro 2). Sin embargo, el manejo de este sistema es un tanto difícil, cuando se presentan: problemas de transmisión de enfermedades, salinidad, desbalance nutrimental y precipitación de compuestos; los cuales generan la necesidad de entender y manipular correctamente los componentes de producción. Por lo tanto, es primordial el uso eficiente de los insumos agrícolas para contrarrestar los efectos de la agricultura en el ambiente y disminuir las pérdidas de los productores en estos sistemas de producción.

Schwarz (1975), Douglas (1976), FAO (1990) y Resh (1992) establecieron los intervalos de concentración nutrimental óptimos para elaborar soluciones nutritivas para varios cultivos, mientras que Gómez y Sánchez (2003) conociendo esta información y con base a la experiencia de varios productores, determinaron la concentración óptima de nutrientes para elaborar una solución nutritiva para jitomate (Cuadro 3), la cual produjo 16.41 kg de jitomate por metro cuadrado (164 ton/ha) en un ciclo de 150 días.

Cuadro 3. Intervalos de concentración nutrimental de soluciones nutritivas para varios cultivos y propuesta de solución nutritiva para jitomate hidropónico.

Nutrimento	Schwarz (1975), Douglas (1976), FAO (1990) y Resh (1992)	Gómez y Sánchez (2003) (Jitomate)
	mg/L	
Nitrógeno (N)	150-300	250
Fósforo (P)	40-60	60
Potasio (K)	200-400	300
Calcio (Ca)	150-300	300
Magnesio (Mg)	30-60	50
Azufre (S)	100-400	200
Hierro (Fe)	0.5-3.0	3.00
Manganeso (Mn)	0.5-1.0	0.50
Boro (B)	0.5-1.0	0.50
Cobre (Cu)	0.05-0.10	0.05
Cinc (Zn)	0.05-0.10	0.05
Molibdeno (Mo)	0.001-0.10	0.01

Cálculos para preparar la solución nutritiva para jitomate según datos de Gómez y Sánchez (2003).

Para iniciar el proceso de elaboración de la solución nutritiva es necesario saber las concentraciones que presenta el agua que utilizaremos ya que estas tienen que restarse para obtener las cantidades de nutrimentos faltantes. Para este caso se utilizó agua libre de sales (nutrimentos), por lo que las concentraciones se mantuvieron iguales. Para cubrir los requerimientos de micronutrimentos se utilizarán: sulfato de magnesio, cobre, zinc, manganeso, así como bórax y sulfato ferroso. Los cálculos se presentan a continuación:

Requerimos 3 mg/l de Fe y tenemos sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), con 21% Fe y 12 % S.

$$\begin{array}{lcl}
 100 \text{ mg } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} & \rightarrow & 21 \text{ mg Fe} & X = (3/21) * 100 = 14.3 \\
 X & \rightarrow & 3 \text{ mg Fe} & \mathbf{15 \text{ mg sulfato ferroso}}
 \end{array}$$

Requerimos 0.5 mg/l de Mn y tenemos sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) con 32% Mn y 19 % S.

$$\begin{array}{lcl}
 100 \text{ mg } \text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} & \rightarrow & 32 \text{ mg Mn} & X = (0.5/32) * 100 = 1.6 \\
 X & \rightarrow & 0.5 \text{ mg Mn} & \mathbf{2 \text{ mg sulfato de manganeso}}
 \end{array}$$

Requerimos 0.5 mg/l de B y tenemos Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) con 11% B.

$$\begin{array}{lcl}
 100 \text{ mg Bórax} & \rightarrow & 11 \text{ mg B} & X = (0.5/10) * 100 = 4.55 \\
 X & \rightarrow & 0.5 \text{ mg B} & \mathbf{5 \text{ mg Bórax}}
 \end{array}$$



Requerimos 0.05 mg/l de Cu y tenemos sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) con 25% Cu y 13 % S.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 25 \text{ mg Cu} \quad X = (0.05/25) * 100 = 0.20 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 0.05 \text{ mg Cu} \quad \quad \quad \mathbf{0.2 \text{ mg sulfato de cobre}} \end{array}$$

Requerimos 0.05 mg/l de Zn y tenemos sulfato de cinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) con 23% Zn y 11 % S.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 23 \text{ mg Zn} \quad X = (0.05/23) * 100 = 0.22 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 0.05 \text{ mg Zn} \quad \quad \quad \mathbf{0.2 \text{ mg sulfato de cinc}} \end{array}$$

Para el caso de los macronutrientes, estos serán cubiertos con: Nitrato de calcio, sulfato de amonio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio y ácido fosfórico.

Por lo tanto, comenzamos con Mg, del cual requerimos 50 mg/l y tenemos sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) con 10% Mg y 13 % S.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 10 \text{ mg Mg} \quad X = (50/10) * 100 = 500 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 50 \text{ mg Mg} \quad \quad \quad \mathbf{500 \text{ mg sulfato de magnesio}} \end{array}$$

Requerimos 300 mg/l de K y tenemos sulfato de potasio (K_2SO_4) con 45% K y 18 % S.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow 45 \text{ mg K} \quad X = (300/45) * 100 = 666.7 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 300 \text{ mg K} \quad \quad \quad \mathbf{667 \text{ mg sulfato de potasio}} \end{array}$$

Requerimos 60 mg/l de P y tenemos ácido fosfórico (H_3PO_4) con 32% P, 85% de pureza y 1.5 g/cm³ de densidad (1.50 g/ml).

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow 32 \text{ mg P} \quad X = (60/32) * 100 = 187.5 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 60 \text{ mg P} \quad \quad \quad 187.5 \text{ mg ácido fosfórico} \end{array}$$

Sin embargo, el ácido fosfórico presenta una concentración de 85% P y es líquido, por lo tanto:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg ácido fosfórico} \rightarrow 85 \text{ mg P} \quad X = (187.5/85) * 100 = 220.6 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 187.5 \text{ mg P} \quad \quad \quad 221 \text{ mg (0.221g) ácido fosfórico} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 100 \text{ ml ácido fosfórico} \rightarrow 150 \text{ g ácido fosfórico} \quad X = (0.221/150) * 100 = 0.147 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 0.221 \text{ g ácido fosfórico} \quad \quad \quad \mathbf{0.147 \text{ ml ácido fosfórico}} \end{array}$$

Requerimos 300 mg/l de Ca y tenemos nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) con 15.5% N y 19% Ca.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ mg } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 19 \text{ mg Ca} \quad X = (300/19) * 100 = 1578.9 \\ X \quad \quad \quad \rightarrow 300 \text{ mg Ca} \quad \quad \quad \mathbf{1580 \text{ mg nitrato de calcio}} \end{array}$$



Finalmente, requerimos 250 mg/l de N y tenemos sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ con 21% N y 24% S. Sin embargo, ya aplicamos N con el nitrato de calcio que presenta 15.5% N, por lo cual:

$$\begin{array}{lcl}
 100 \text{ mg Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} & \rightarrow & 15.5 \text{ mg N} & X = (1580/100) * 15.5 = 244.9 \\
 1580 \text{ mg Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} & \rightarrow & X & \mathbf{245 \text{ mg N}}
 \end{array}$$

Por lo tanto, únicamente requerimos 5 mg de N para completar los 250 mg de N requeridos:

$$\begin{array}{lcl}
 100 \text{ mg } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 & \rightarrow & 21 \text{ mg N} & X = (5/21) * 100 = 47.6 \\
 X & \rightarrow & 5 \text{ mg N} & \mathbf{48 \text{ mg sulfato de amonio}}
 \end{array}$$

El último nutrimento que falta cubrir es azufre (S). Sin embargo, la mayoría de los fertilizantes agregados lo presentan en diferentes concentraciones, por lo que se tiene que calcular la cantidad aportada por éstos.

Sulfato de zinc: $(0.2 \times 0.11) = 0.02 \text{ mg S}$	Sulfato de magnesio: $(500 \times 0.13) = 65 \text{ mg S}$
Sulfato de cobre: $(0.2 \times 0.13) = 0.03 \text{ mg S}$	Sulfato de potasio: $(667 \times 0.18) = 120 \text{ mg S}$
Sulfato de manganeso: $(2 \times 0.19) = 0.4 \text{ mg S}$	Sulfato de amonio: $(48 \times 0.24) = 12 \text{ mg S}$
Sulfato ferroso: $(15 \times 0.12) = 2 \text{ mg S}$	

Todos estos fertilizantes en su conjunto cubren los 200 mg de S requeridos para la solución. Por su parte, el molibdeno, que se requiere en bajas concentraciones, es aportado con los fertilizantes adicionados, ya que se presenta como elemento traza. Por lo tanto, las fuentes utilizadas y sus cantidades para preparar la solución nutritiva para jitomate se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Fuentes de fertilizantes, características y cantidades requeridas para preparar solución nutritiva para jitomate.

Fertilizante	Fórmula	Composición (%)	Cantidad requerida (mg/l)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	15.5 N, 19 Ca	1580
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21 N, 24 S	48
Sulfato de potasio	K_2SO_4	45 K, 18 S	667
Ácido fosfórico 85%	H_3PO_4	32 P	221 (0.147 ml)
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 Mg, 13 S	500
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	21 Fe, 12 S	15
Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32 Mn, 19 S	2
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11 B	5
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25 Cu, 13 S	0.2
Sulfato de cinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	23 Zn, 11 S	0.2





Nota: *La concentración de los nutrimentos en la solución debe ser la adecuada para cada cultivo y etapa, ya que de esto depende la óptima nutrición del cultivo a lo largo de su ciclo de producción, por lo que un oportuno análisis de la solución nutritiva y del agua de riego es indispensable cuando se manejan producciones bajo sistemas de fertirrigación e hidroponía. El desconocimiento de las cantidades reales de nutrimentos que aportamos para las plantas pueden generar toxicidades o deficiencias a lo largo del ciclo productivo que resultarán en una reducción del rendimiento final del cultivo, disminuyendo con ello, las ganancias del productor.*

Fuentes

- Douglas, J.S. 1976. Advanced Guide to Hydroponics. Drake Publishers. New York.
- FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Gómez H., T. y F. Sánchez D. C. 2003. Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. Terra Latinoamericana 21(1):57-63.
- Pineda P., J. y F. Sánchez del C. 1998. Dilución de la solución nutritiva en el cultivo de crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum*) en un sistema hidropónico abierto. Revista Chapingo, Serie Horticultura 4: 25-30.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos. 3a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Salazar M., R., A. Rojano A. y I. L. López C. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. Nota técnica. Tecnología y Ciencias del Agua 5(2): 177-183.
- Schwarz, M. 1975. Guide to Commercial Hydroponics. Israel Universities Press. Jerusalem, Israel.