

orders in cucumbers and gherkins under
n, 1969.

ter of Agric. Publ. and Documentation,

dsworth, 1969.

ases in glasshouse tomatoes. Wagenin-

York: David McKay, 1964.

3

La solución de nutrientes

3.1. Sales inorgánicas (fertilizantes)

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua, para preparar la solución de nutrientes. La elección de las sales que deberán ser usadas depende de un elevado número de factores. La proporción relativa de iones que deberemos añadir a la composición se comparará con la necesaria en la formulación del nutriente; por ejemplo, una molécula de nitrato potásico (KNO_3) proporcionará un ion de potasio (K^+) y otro ion de nitrato (NO_3^-), así como una molécula de nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$] nos dará un ion de calcio (Ca^{++}) y dos iones de nitrato 2 (NO_3^-). Así pues, si necesitamos un número mínimo de cationes, mientras que suministremos suficiente nitrato (aniones), el nitrato cálcico podría ser utilizado. Es decir, que sería necesario como mucho la mitad de nitrato cálcico que de nitrato potásico para suministrar las necesidades del anión nitrato.

Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad. La solubilidad es la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando disolvemos ésta en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de ésta se disolverá en el agua. En los cultivos hidropónicos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas. Por ejemplo, el calcio puede ser suministrado, bien por el nitrato cálcico, o por el sulfato cálcico; el sulfato cálcico es más barato, pero su solubilidad es muy baja, por tanto, el nitrato cálcico deberá ser el que usemos para suministrar la totalidad de las necesidades de calcio.

El coste de un fertilizante en particular deberá considerarse según vayamos a utilizarlo; en general, deberá usarse lo que normalmente se denomina como grado o calidad de invernadero: el coste es, a veces, más grande que una calidad estándar, pero la dureza o solubilidad es mucho mayor. Una calidad pobre contendrá siempre gran cantidad de materia inerte (arcilla, partículas de limo), la cual puede formar una capa sobre la zona radicular; dicha capa no solamente puede impedir alcanzar esta zona a otros nutrientes, sino también taponará las líneas de alimentación. El nitrato cálcico de calidad regular es enviado a granel a América del Norte y envasado en este continente. Para el envío a gra-

nel, es cubierto con un plastificador grasiento para prevenir la acumulación de agua, pues es hidrocópico (atrae al agua). Desgraciadamente, en la utilización de soluciones de nutrientes esta cubierta grasienta produce una espesa capa que flota en la superficie de la solución y taponas las líneas de riego, haciendo difícil la limpieza de los tanques y del equipo. Para evitar este problema, hay que usar la calidad especial de soluciones de nutrientes de invernadero, llamada «Solution Grade», que viene envasada en un saco verde, y no en los sacos azul y rojo, o rojos, de las calidades regulares (marca «Viking Ship»). La disponibilidad del nitrato frente a los compuestos amónicos es importante en las plantas para inducir tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo. Las plantas pueden absorber tanto el ion catiónico del amonio (NH_4^+) como el anión nitrato (NO_3^-). El amonio, una vez absorbido, puede servir inmediatamente para la síntesis, bien sea de aminoácidos o de otros compuestos que contengan nitrógeno en reducción; la absorción de amonio puede causar un crecimiento vegetativo excesivo, particularmente bajo condiciones de luminosidad muy pobres. El nitrógeno y el nitrato pueden ser reducidos antes de ser asimilados, disminuyéndose de esta forma el crecimiento vegetativo. Las sales de amonio podrían ser utilizadas bajo brillantes condiciones de sol en verano, cuando la fotosíntesis es alta, o bien si sucede una deficiencia de nitrógeno y hace falta una rápida fuente de él; en cualquier caso, las sales de nitrato deberán ser las utilizadas.

Un resumen de algunas de las sales que podríamos utilizar en una solución de nutrientes para el cultivo hidropónico se da en la tabla 3.1. La particular elección de las sales dependerá de lo ya anteriormente dicho y también de las disponibilidades del mercado. Si vamos a utilizar un medio seco, tal como serrín, turba o vermiculita, pueden emplearse algunas de las sales más insolubles, mientras que si la solución de nutrientes se va a preparar con anterioridad, deberíamos utilizar aquellas más solubles (las cuales están marcadas con un asterisco). El cloruro potásico y el cálcico deberán ser utilizados solamente para corregir las deficiencias de potasio y calcio, respectivamente; no obstante, solamente podremos utilizarlos si están presentes en la solución de nutrientes cantidades insignificantes de cloruro sódico (menos de 50 ppm), ya que si estos cloruros se añaden en presencia de sodio, resultará un veneno para las plantas.

El uso de quelatos (hierro, manganeso y zinc) es altamente recomendable, puesto que permanecen fácilmente en la solución y están siempre disponibles para las plantas, incluso bajo condiciones de pH muy variables. Una sal de quelato puede definirse como un compuesto orgánico soluble, al cual los elementos minerales se adhieren hasta que son tomados por las raíces de las plantas; el compuesto orgánico es el EDTA (ácido etileno-diaminotetra acético). El EDTA tiene una gran afinidad para los iones cálcicos, y es por esto un pobre agente de acción de quelato para un medio calcáreo (piedra caliza, arena coralífera). En este caso debería reemplazarse por EDDHA (ácido etilenodiamino dihidroxifenil acético). El hierro se puede suministrar con la sal de hierro de DTPA (pentacetato dietilenotriamino sódico férrico), cuya abreviatura es Fe-DP y que contiene un 7% de hierro.

3.2. Compuestos recomendados para una solución completa de nutrientes

El calcio deberá suministrarse por medio del nitrato cálcico. El nitrato cálcico también aportará nitrógeno del nitrato. Cualquier otro nitrógeno adicional que sea preciso deberá suministrarse por medio del nitrato potásico, el cual también proveerá de algún

prevenir la acumulación de agua, te, en la utilización de soluciones a capa que flota en la superficie de la limpieza de los tanques y del calidad especial de soluciones de , que viene envasada en un saco alidades regulares (marca «Viking» estos amónicos es importante en o como el reproductivo. Las plan- nio (NH_4^+) como el anión nitrato mediatamente para la síntesis, bien engan nitrógeno en reducción; la etativo excesivo, particularmente ugenio y el nitrato pueden ser redu- a forma el crecimiento vegetativo. ntes condiciones de sol en verano, eficiencia de nitrógeno y hace falta nitrato deberán ser las utilizadas. amos utilizar en una solución de a 3.1. La particular elección de las en de las disponibilidades del mer- errín, turba o vermiculita, pueden as que si la solución de nutrientes r aquellas más solubles (las cuales y el cálcico deberán ser utilizados al calcio, respectivamente; no obs- ntes en la solución de nutrientes e 50 ppm), ya que si estos cloru- eno para las plantas.

altamente recomendable, puesto que disponibles para las plantas, incluso lato puede definirse como un com- s se adhieren hasta que son tomados EDTA (ácido etileno-diaminotetra es cálcicos, y es por esto un pobre piedra caliza, arena coralífera). En enodiamino dihidroxifenil acético). TPA (pentacetato dietilenotriamino ne un 7% de hierro.

solución completa

ato cálcico. El nitrato cálcico tam- nitrógeno adicional que sea preciso el cual también proveerá de algún

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

TABLA 3.1
Resumen de las sales fertilizantes utilizadas en los cultivos hidropónicos

Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Elementos que se aportan	Relación de solubilidad del soluto al agua	Coste	Otros datos
A) Macroelementos						
* KNO_3	Nitrato potásico (Salpeter)	101,1	K^+ , NO_3^-	1:4	Bajo	Altamente soluble, muy puro.
* $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Nitrato cálcico	164,1	Ca^{++} , $2(\text{NO}_3^-)$	1:1	Bajo-medio	Altamente soluble, pero se prepara con una cubierta grasienta, la cual debe ser limpiada de la solución de nutrientes.
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Sulfato amónico Dihidrofostato amónico	132,2 115,0	$2(\text{NH}_4^+)$, SO_4^{--} NH_4^+ , H_2PO_4^-	1:2 1:4	Medio Medio	Estos compuestos deberán utilizarse solamente bajo condiciones muy buenas de iluminación o para corregir deficiencias de nitrógeno.
NH_4NO_3 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ * KH_2PO_4	Nitrato amónico Fosfato amónico Fosfato monopotásico	80,05 132,1 136,1	NH_4^+ , NO_3^- $2(\text{NH}_4^+)$, HPO_4^{--} K^+ , H_2PO_4^-	1:1 1:2 1:3	Medio Medio Muy caro	Una sal excelente altamente soluble y pura, pero muy costosa.
KCl	Cloruro potásico (Muriato de Potasa)	74,55	K^+ , Cl^-	1:3	Caro	Deberá utilizarse solamente en caso de deficiencias en K, y cuando no esté presente el cloruro sódico en la solución.
* K_2SO_4	Sulfato potásico	174,3	2K^+ , SO_4^{--}	1:15	Barato	Tiene una solubilidad muy baja, pero se disuelve en agua caliente.

TABLA 3.1. (Continuación)
Resumen de las sales fertilizantes utilizadas en los cultivos hidropónicos

Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Elementos que se aportan	Relación de solubilidad del soluto al agua	Coste	Otros datos
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Fosfato monocalcico	252,1	Ca^{++} , $2(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$	1:60	Barato	Muy difícil de obtener con un buen grado de solubilidad.
$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$	Superfosfato triple	Variable	Ca^{++} , $2(\text{PO}_4^{=})$	1:300	Barato	Muy baja solubilidad, es muy bueno solamente para preparaciones en seco, pero no para soluciones de nutrientes.
$*\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de magnesio (sales de Epsom)	246,5	Mg^{++} , $\text{SO}_4^{=}$	1:2	Barato	Excelente, barato, altamente soluble, sal pura.
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Cloruro calcico	219,1	Ca^{++} , 2Cl^-	1:1	Caro	Altamente soluble, muy bueno para compensar las deficiencias en Ca, pero deberá utilizarse solamente si no está presente en la solución de nutrientes el NaCl.
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato calcico (yeso)	172,2	Ca^{++} , $\text{SO}_4^{=}$	1:500	Barato	Muy soluble, no puede ser utilizado en las soluciones de nutrientes.
H_3PO_4	Acido fosfórico Acido ortofosfórico	98,0	$\text{PO}_4^{=}$	Solución concentrada de ácido	Caro	Muy bueno para corregir las deficiencias de P.

utilizarse solamente si no está presente en la solución de nutrientes el NaCl.

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cálcico (yeso)	172,2	$\text{Ca}^{++}, \text{SO}_4^-$	1:500	Barato	Muy soluble, no puede ser utilizado en las soluciones de nutrientes.
H_3PO_4	Acido fosfórico Acido ortofosfórico	98,0	PO_4^-	Solución concentrada de ácido	Caro	Muy bueno para corregir las deficiencias de P.

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

B) Microelementos

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de hierro (vitriolo verde)	278,0	$\text{Fe}^{++}, \text{SO}_4^-$	1:4		
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Cloruro férrico	270,3	$\text{Fe}^{+++}, 3\text{Cl}^-$	1:2	Caro	La mejor fuente de hierro; se disuelve en agua caliente.
*FeEDTA	Quelato de hierro (sequestrene)	382,1	Fe^{++}	Altamente soluble		
* H_3BO_3	(10,5% hierro) Acido bórico	61,8	B^{+++}	1:20	Caro	La mejor fuente de boro; se disuelve en agua caliente.
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Tetraborato sódico (bórax)	381,4	B^{+++}	1:25		
* $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de cobre (piedra azul)	249,7	$\text{Cu}^{++}, \text{SO}_4^-$	1:5	Barato	
* $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de manganeso	223,1	$\text{Mn}^{++}, \text{SO}_4^-$	1:2	Barato	
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Cloruro de manganeso	197,9	$\text{Mn}^{++}, 2\text{Cl}^-$	1:2	Barato	
* $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sulfato de zinc	287,6	$\text{Zn}^{++}, \text{SO}_4^-$	1:3	Barato	
ZnCl_2	Cloruro de zinc	136,3	$\text{Zn}^{++}, 2\text{Cl}^-$	1:1,5	Barato	
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	Molibdato amónico	1.163,9	$\text{NH}_4^+, \text{Mo}^{+6}$	1:2,3	Relativamente caro	
*ZnEDTA	Quelato de zinc	431,6	Zn^{++}	Altamente soluble	Caro	
*MnEDTA	Quelato de manganeso	381,2	Mn^{++}	Altamente soluble	Caro	

* Estos compuestos, que son los más solubles, deberán ser utilizados para preparar la solución de nutrientes.

potasio. Todo el fósforo deberá obtenerse a partir del fosfato monopotásico, el cual también aportará algún potasio. Las necesidades de potasio que aún existan podrán obtenerse a partir del sulfato potásico, el cual también aportará algo de azufre. El azufre que necesitamos añadir podrá obtenerse de otros sulfatos, tales como sulfato de magnesio, el cual es también usado para aportar las necesidades de magnesio.

Los micronutrientes pueden obtenerse a partir de preparados comerciales. Si bien éstos son relativamente caros, nos evitan el difícil trabajo de pesar individualmente los compuestos que contienen dichos preparados.

Es posible que los cultivadores aficionados quieran usar premezclas para los macronutrientes, pero los agricultores profesionales deben utilizar los compuestos básicos indicados en la tabla 3.1. La razón para ello es que es muy difícil conseguir una mezcla homogénea de fertilizantes cuando se mezclan cientos de libras de compuestos individuales con un mezclador mecánico. Muchos de los compuestos están en forma de polvo o de grano fino, y con frecuencia llenos de grumos, que no se mezclan uniformemente. La experiencia con estas premezclas ha revelado escasez de magnesio, casi siempre una escasez de hierro y muchas veces exceso de manganeso. Además, las premezclas no ofrecen la flexibilidad en la manipulación de una formulación de nutrientes que es necesaria durante los diferentes estados de desarrollo de la planta, y bajo las cambiantes horas de luz solar y de longitud del día. Esta capacidad para introducir cambios en la formulación de los nutrientes es imperativa para la optimización de los rendimientos de las cosechas.

3.3. Análisis de los fertilizantes químicos

Las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio disponibles se nos dan en los sacos de fertilizantes como porcentajes de nitrógeno (N), anhídrido fosfórico (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O). Esto se ha utilizado de forma tradicional expresado siempre en dichos términos y no en porcentajes de N, P o K. Por ejemplo, el nitrato potásico se dará como 13-0-44, lo que nos indica un 13 por 100 de N, 0 por 100 P_2O_5 y 44 por 100 K_2O .

Las formulaciones de nutrientes para los cultivos hidropónicos se expresan dando el nitrógeno como N, NH_4^+ , o NO_3^- ; el fósforo como P o PO_4^{3-} y no como P_2O_5 ; y el potasio como K^+ , y no como K_2O . Así pues, es necesario convertir N en NO_3^- , P_2O_5 como P o PO_4^{3-} , y K_2O como K^+ , o viceversa, en cada caso. La conversión de esta naturaleza puede efectuarse calculando la fracción de cada elemento que ha dado lugar al compuesto. La tabla 3.2 nos da los factores de conversión para determinar la fracción de cada elemento en un compuesto, y viceversa. Dicha tabla se ha obtenido por medio del uso de los pesos atómicos y moleculares como sigue: la fracción de N en NO_3^- es el peso atómico del nitrógeno (14) dividida por el peso molecular del nitrato (62).

El cálculo es: $14/62 = 0,226$. En la tabla 3.2 aparece este factor en la segunda línea del factor de conversión B-A. Esto es debido a que tenemos nitrato y queremos encontrar la cantidad de nitrógeno en él. Para determinar la cantidad necesaria de nitrato por unidad de nitrógeno, se usa el recíproco (inverso) de la fracción, empleando la siguiente relación para hallar «x»:

$$\frac{1}{14} \times x = \frac{62}{62}$$

$N = NO_3^-$, de donde $14 \times x = 62$

por tanto: $x = 62/14 = 4,429$

TABLA 3.2
Factores de conversión para las sales fertilizantes

Columna A *	Columna B*	Factores de conversión	
		A-B	B-A
Nitrógeno (N)	Amoníaco (NH_3)	1.216	0,822
	Nitrato (NO_3)	4.429	0,226
	Nitrato potásico (KNO_3)	7.221	0,1385
	Nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	5.861	0,171
	Sulfato amónico (NH_4SO_4)	4.721	0,212
	Nitrato amónico (NH_4NO_3)	2.857	0,350
	Fosfato biamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)	4.717	0,212
Fósforo (P)	Anhídrido fosfórico (P_2O_5)	2.292	0,436
	Fosfato (PO_4)	3.066	0,326
	Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	4.394	0,228
	Fosfato biamónico ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)	4.255	0,235
	Acido fosfórico (H_3PO_4)	3.164	0,316
Potasio (K)	Potasa (K_2O)	1.205	0,830
	Nitrato potásico (KNO_3)	2.586	0,387
	Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	3.481	0,287
	Cloruro potásico (KCl)	1.907	0,524
	Sulfato potásico (K_2SO_4)	2.229	0,449
Calcio (Ca)	Oxido cálcico (CaO)	1.399	0,715
	Nitrato cálcico ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)	4.094	0,244
	Cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	5.467	0,183
	Sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	4.296	0,233
Magnesio Mg)	Oxido de magnesio (MgO)	1.658	0,603
	Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	10.14	0,0986
Azufre (S)	Acido sulfúrico (H_2SO_4)	3.059	0,327
	Sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	4.124	0,2425
	Sulfato potásico (K_2SO_4)	5.437	0,184
	Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	7.689	0,130
	Sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	5.371	0,186
Hierro (Fe)	Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.978	0,201
	Quelato de hierro (Fe EDTA)	10.00	0,100
	(Sequestrene - 10% hierro)		
Boro (B)	Acido bórico (H_3BO_3)	5.717	0,175
	Tetraborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Bórax)	8.820	0,113
Cobre (Cu)	Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	3.930	0,254
Manganeso (Mn)	Sulfato manganesico ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	4.061	0,246
	Cloruro manganesico ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	3.602	0,278
	Quelato manganesico (Mn EDTA)	20.00	0,050
	(5% líquido)		
Zinc (Zn)	Sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.400	0,227
	Cloruro de zinc ($\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	2.085	0,480
	Quelato de zinc (Zn EDTA)	7.143	0,140
	(14% polvo)		
Quelato de zinc (96% líquido)		11.11	0,090
Molibdeno (Mo)	Molibdato amónico ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	1.733	0,577
	Molibdato sódico ($\text{Na}_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	1.777	0,563

NOTA: Estos factores se derivan de la fracción de un elemento presente en un compuesto basada en el peso atómico del elemento y el peso molecular del compuesto.

* Para encontrar los equivalentes de los datos de la columna A en forma de los de la columna B, se multiplicará la cantidad del elemento A por el factor indicado en la columna A-B. Lo inverso se obtendrá multiplicando la cantidad de B por el factor B-A.

Este es el factor de conversión A-B que aparece en la segunda línea de la tabla 3.2. La comprensión de este concepto para la obtención de estos factores posibilitará el cálculo de otros factores, en el caso de que se usaran otros compuestos diferentes a los que aparecen en la tabla 3.2.

TABLA 3.3
Porcentaje de pureza de los fertilizantes comerciales

<i>Sal</i>	<i>% pureza</i>
Fosfato amónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) (especial soluble)	98
Sulfato amónico ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	94
Nitrato amónico puro (NH_4NO_3)	98
Nitrato potásico (KNO_3)	95
Nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$]	90
Fosfato monocalcico [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] (especial soluble)	92
Sulfato potásico (K_2SO_4)	90
Cloruro potásico (KCl)	95
Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)*	45
Cloruro cálcico (CaCl_2)	75
Sulfato cálcico (CaSO_4) Yeso	70
Fosfato monopotásico (KH_2PO_4)	98

* La pureza se calcula basándonos en la fórmula indicada. El agua de cristalización no se considera como impureza.
NOTA: En la tabla 3.2 se ha tenido en cuenta el agua de cristalización en el cálculo de los factores de conversión.

Muchos fertilizantes tienen sinónimos o nombres comunes. En la tabla 3.4 figura una lista de estos nombres comunes.

3.4. Impurezas en los fertilizantes

La mayoría de las sales fertilizantes no son puras al 100 por 100, pues a menudo contienen materias inertes, tales como partículas de arcilla, arena y limo, las cuales no aportan ningún ion. Así pues, es preciso que en los sacos de fertilizantes aparezca el porcentaje de pureza dado con un análisis garantizado. Algunos de los porcentajes de pureza de los fertilizantes más comunes se encuentran en la tabla 3.3. Estas impurezas deberán ser tenidas en cuenta cuando se efectúen los cálculos de las necesidades de fertilizantes para la formulación de un nutriente en particular.

Muchos fertilizantes se utilizan con sinónimos como nombre común, es por esto por lo que se da en la tabla 3.4 una lista de los nombres más comunes.

3.5. Formulación de los nutrientes

La formulación de los nutrientes se da normalmente en ppm de la concentración de cada uno de los elementos esenciales. Una parte por millón es una parte de cada uno de ellos en un millón de partes de otro; esto puede ser una medida de peso, por ejemplo, 1 $\mu\text{g/g}$ (un microgramo por gramo); una medida de peso y volumen, por ejemplo, 1 mg/l (un miligramo por litro), o un volumen utilizado como medida, por ejemplo, 1 $\mu\text{l/l}$ (un microlitro por litro). Como prueba de todo esto tenemos lo siguiente:

en la segunda línea de la tabla 3.2. En de estos factores posibilitará el a otros compuestos diferentes a los

ntes comerciales

% pureza
98
94
98
95
90
92
90
95
45
75
70
98

ión no se considera como impureza.
de los factores de conversión.

res comunes. En la tabla 3.4 figura

ras al 100 por 100, pues a menudo arcilla, arena y limo, las cuales no s sacos de fertilizantes aparezca el ado. Algunos de los porcentajes de ran en la tabla 3.3. Estas impurezas s cálculos de las necesidades de fer-ticular.

como nombre común, es por esto ores más comunes.

iente en ppm de la concentración de r millón es una parte de cada uno de r una medida de peso, por ejemplo, de peso y volumen, por ejemplo, 1 lo como medida, por ejemplo, 1 μ l/l tenemos lo siguiente:

$$(1) 1 \mu\text{g/g} = \frac{1}{1.000.000} \text{ g} = \frac{1}{1.000.000} \text{ g}$$

$$(2) 1 \mu\text{l/l} = \frac{1}{11} \text{ l} = \frac{1}{1.000.000} \text{ l}$$

(3) 1 mg/l:

$$1 \text{ mg} = \frac{1}{1.000} \text{ g}; 1 \text{ l} = 1.000 \text{ ml}$$

Así pues:

$$1 \text{ mg/l} = \frac{1}{1.000} \text{ g} = \frac{1}{1.000 \text{ ml H}_2\text{O}} \text{ g},$$

puesto que 1 ml de H_2O pesa 1 gramo (g)

3.5.1. Pesos atómicos y moleculares

Los pesos atómicos y moleculares de los elementos y sus componentes, respectivamente, deberán ser utilizados en los cálculos para las concentraciones necesarias en la formulación de los nutrientes. Los pesos atómicos indican los pesos relativos de los diferentes átomos, o sea, cuál es el peso de un átomo comparado con el de otro. Las tablas de los pesos atómicos para cada uno de los átomos han sido efectuadas estableciendo una escala relativa de los pesos atómicos. Para efectuar esto se ha elegido un elemento como base para comparar con él los demás elementos. En el pasado se asignó al oxígeno (O) el peso atómico 16, y todos los demás elementos se han comparado con relación al de éste. La tabla 3.5 da una lista de los pesos atómicos de los elementos más comúnmente utilizados en los cultivos hidropónicos. Cuando varios átomos se combinan entre ellos, forman una molécula. Estas se expresan en su forma molecular. Por ejemplo, el agua es H_2O , estando formada por dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O). El peso de cualquier fórmula molecular consiste en el peso de las moléculas. O sea, simplemente la suma de los pesos atómicos en la molécula. El peso molecular del agua es 18 (hay dos átomos de hidrógeno, cada uno de los cuales tiene un peso de 1,0, y un átomo de oxígeno que tiene un peso atómico de 16,0). Los pesos moleculares de los fertilizantes más comúnmente utilizados para los cultivos hidropónicos se dan en la tabla 3.1. Los pesos atómicos de todos los elementos conocidos se pueden encontrar en las tablas de los libros de química. Los siguientes ejemplos nos aclararán el uso de los pesos atómicos y moleculares, así como su utilización en los cálculos para la formulación de nutrientes.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 3.4
Nombres químicos y sinónimos de los compuestos más comúnmente utilizados en las soluciones de nutrientes

Nombre químico	Sinónimo o nombre común
Nitrato potásico KNO_3	Salpeter, salitre (no confundirlo con el nitrato de Chile, el cual es nitrato sódico, o con el «niter cake», el cual es sulfato sódico impuro).
Nitrato sódico NaNO_3	Nitrato de Chile (ver lo indicado arriba), salpeter de Chile.
Fosfato ácido de amonio $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Fosfato primario de amonio, bifosfato amónico, bihidrofosfato amónico, fosfato amónico monobásico, «Ammophos A».
Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Carbamida; carbonyldiamida.
Sulfato potásico K_2SO_4	Sulfato de potasa.
Fosfato ácido de potasio KH_2PO_4	Bifosfato potásico, dihidro fosfato potásico, fosfato monobásico de potasio.
Cloruro potásico KCl	Muriato de potasa, cloruro de potasa (no confundir con el clorato de potasa, el cual es KClO_3), Sylvita (forma mineral).
Fosfato monocálcico $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	«Superfosfato» cálcico (normalmente, con un 20 por 100 de pureza), «superfosfato triple» de calcio (normalmente, con un 75 por 100 de pureza), bifosfato cálcico, fosfato ácido de calcio, fosfato primario de calcio.
Acido fosfórico H_3PO_4	Acido ortofosfórico (el grado USP es 85-88 por 100 H_3PO_4 , pero el grado tectónico comercial es comúnmente del 70-75 por 100 de pureza (H_3PO_4)).
Sulfato cálcico $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cálcico precipitado o nativo; alabastro de yeso.
Cloruro cálcico $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Dihidro cloruro cálcico. Esta sal puede algunas veces ser vendida como el hexa-hidrato o $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
Sulfato de magnesio $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Sal Epsom. Esta sal se vende en forma anhidra sin agua.
Sulfato de hierro $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Vitriolo verde; vitriolo de hierro, caparrosa.
Sulfato de zinc $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Vitriolo blanco o de zinc.
Acido bórico H_2BO_3	Acido bórico, ácido ortobórico.
Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Sulfato cúprico, piedra azul, caparrosa azul.

Fuente: Adaptado de Withrow, R. B., and Withrow, A. P., 1948. *Nutriculture*. Lafayette, Ind. Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Publ. S. C. 328.

Nitrato cálcico - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Peso atómico:

Ca = 40,08
 N = 14,008
 O = 16,000

Peso molecular:

Ca = 40,08
 2 N = 28,016
 6 O = 96,0
 164,096

NOTA: Hay dos átomos de nitrógeno y seis de oxígeno en el nitrato cálcico.

TABLA 3.5
Pesos atómicos de los elementos más comunes usados en hidropónicos

Nombre	Símbolo	Peso atómico
Aluminio	Al	26,98
Boro	B	10,81
Calcio	Ca	40,08
Carbono	C	12,01
Cloro	Cl	35,45
Cobre	Cu	63,54
Hidrógeno	H	1,008
Hierro	Fe	55,85
Magnesio	Mg	24,31
Manganeso	Mn	54,94
Molibdeno	Mo	95,94
Nitrógeno	N	14,01
Oxígeno	O	16,00
Fósforo	P	30,97
Potasio	K	39,10
Selenio	Se	78,96
Silicio	Si	28,09
Sodio	Na	22,99
Azufre	S	32,06
Zinc	Zn	65,37

3.5.2. Cálculo de las formulaciones de nutrientes

Si en una formulación de nutrientes se nos piden 200 ppm de calcio (200 mg/l), nosotros necesitamos 200 mg de calcio en cada litro de agua. En 164 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, nosotros tenemos 40 mg de Ca (utilizando los pesos atómicos y moleculares para determinar la fracción de calcio en el nitrato cálcico, considerando 100 por 100 la pureza del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). El primer paso será el calcular cuánto $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ es necesario para obtener 200 mg de Ca. Esto se hace por medio de la siguiente relación:

164 mg $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos da 40 mg Ca
 X mg $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos da 200 mg Ca

$$\text{Ratio de } \frac{\text{Ca}}{\text{NO}_3} : \frac{40}{164} = \frac{200}{x}$$

$$40 x = 200 \times 164$$

$$x = \frac{200 \times 164}{40} = 820$$

Así pues, 820 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ nos darán 200 mg Ca. Si los 820 mg de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se disuelven en un litro de agua, la solución resultante nos dará una concentración de 200 ppm (200 mg/l) de Ca. Hemos considerado que el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tiene una pureza del 100 por 100. Cuando no ocurra esto —lo cual es lo más frecuente—, será necesario añadir un producto para compensar la impureza. Por ejemplo: si el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tiene una pureza del 90 por 100, será necesario añadir:

$$\frac{100}{90} \times 820 = 911 \text{ mg Ca(NO}_3)_2$$

Los 911 mg $\text{Ca(NO}_3)_2$ en un litro de agua nos darán 200 ppm de Ca.

Normalmente, en la mayoría de los casos será necesario un volumen mayor de un litro de solución de nutrientes. El segundo paso entonces será calcular la cantidad de fertilizantes necesarios para dar el volumen preciso de nutrientes.

Calcular inicialmente la cantidad necesaria de un compuesto utilizando el sistema métrico de mg/l, y convertir después a libras y galones, si fuera necesario. Primeramente, pasar el volumen del tanque de nutriente en galones a litros. Para hacer esto, hay que tener cuidado de que existen las diferencias siguientes entre el galón Imperial (sistema británico) y el galón USA:

$$\begin{aligned} 1 \text{ galón USA (gal)} &= 3,785 \text{ litros (l)} \\ 1 \text{ galón Imp (gal)} &= 4,5459 \text{ litros (l)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Por ejemplo: } 100 \text{ gal USA} &= 378,5 \text{ l} \\ 100 \text{ gal Imp} &= 454,6 \text{ l} \end{aligned}$$

La solución del siguiente problema demostrará el uso de estas conversiones. Supongamos que se requiere una concentración de 200 ppm de Ca en un tanque de nutrientes de 300 galones USA.

$$300 \text{ gal USA} = 300 \times 3,785 \text{ l} = 1.135,5 \text{ l}$$

Si se necesitaran 911 mg de $\text{Ca(NO}_3)_2$ por litro de agua, la cantidad necesaria para 300 galones USA sería:

$$911 \text{ mg} \times 1.135,5 \text{ l} = 1.034.440 \text{ mg}$$

Para pasar a gramos (g), hay que dividir por 1.000, pues $1.000 \text{ mg} = 1 \text{ g}$.

$$\frac{1.034.440 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 1.034,4 \text{ g}$$

Ahora, pasar a kilogramos dividiendo por 1.000, pues $1.000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$:

$$\frac{1.034,4 \text{ g}}{1.000 \text{ g}} = 1,4 \text{ kg}$$

Para calcular libras, utilizar: $1 \text{ lb} = 454 \text{ g}$; o bien $1 \text{ kg} = 2,2046 \text{ lb}$

$$\text{Así pues: } \frac{1.034,4 \text{ g}}{454 \text{ g}} = 2,278 \text{ lb} = 2,28 \text{ lb}$$

$$\text{o bien: } 1,034 \text{ kg} \times 2,2046 \text{ lb} = 2,28 \text{ lb}$$

Pasar después la fracción de libras a onzas: 1 lb = 16 oz

$$2 \text{ lb} + (0,28 \text{ lb} \times 16 \text{ oz} = 4,5 \text{ oz})$$

O sea: 2 lb 4,5 oz

Aunque esta conversión a libras es suficientemente precisa para grandes pesos, cuando se trate de cantidades inferiores a una libra se debe pesar en gramos para más seguridad. Una balanza que precise hasta 0,1 gramos es una escala apropiada para la mayoría de las pesadas por debajo de una libra.

Si el compuesto utilizado contiene más de un elemento esencial —éste es el caso corriente—, el tercer paso es determinar cuánto se añadió de cada elemento para satisfacer las necesidades del primer elemento esencial. El nitrato cálcico contiene calcio y nitrógeno. Por tanto, el tercer paso es calcular la cantidad de nitrógeno añadido para satisfacer las necesidades de calcio.

Esto debe hacerse utilizando el concepto ppm, de forma que se puedan hacer ajustes para este elemento. El cálculo se hace usando la fracción de nitrógeno en el nitrato cálcico y multiplicando la cantidad de nitrato cálcico utilizado por esta fracción. Hay que utilizar el peso del nitrato cálcico antes de los ajustes por impurezas, es decir, los 820 mg y no los 911 mg, tal como sigue:

$$\frac{2(14)}{164} \times 820 \text{ mg/l} = 140 \text{ mg/l (ppm)}$$

En resumen, 820 mg/l de nitrato cálcico proporcionarán 200 mg/l de calcio y 140 mg/l de nitrógeno (suponiendo una pureza del 100 por 100). Asimismo, utilizando el ejemplo para el tanque de 300 galones USA, 2 libras y 4,5 onzas (1.034 g) de nitrato cálcico proporcionan 200 ppm de calcio y 140 ppm de nitrógeno en el tanque de la solución.

Mediante el uso de los factores de conversión de la tabla 3.2, se pueden simplificar los cálculos. No es necesario usar los pesos atómicos y moleculares y sus fracciones, puesto que los factores de conversión de la tabla 3.2 fueron sacadas de ellos, como se ha explicado antes.

Volviendo al primer paso para determinar la cantidad de nitrato cálcico necesario para suministrar 200 ppm (mg/l) de calcio, utilizar el factor de conversión de la tabla 3.2. Si queremos 200 ppm de Ca de la fuente $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, usaremos el factor A-B 4,094:

$$200 \times 4,094 = 819 \text{ mg/l de } \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$$

Obsérvese que existe una pequeña diferencia entre este valor y el anterior (819 mg/l contra 820 mg/l). Esta pequeña diferencia es insignificante para nuestros propósitos.

Igualmente, se puede calcular la cantidad de nitrógeno en 819 mg/l de nitrato cálcico utilizando el factor de conversión B-A 0,171 en la parte superior de la tabla 3.2:

$$0,171 \times 819 \text{ mg/l} = 140 \text{ mg/l (ppm) de N}$$

El cuarto paso es calcular la cantidad adicional de este segundo elemento necesaria de otra fuente. Por ejemplo, si la formulación del nutriente exigía 150 ppm de N, la cantidad adicional sería:

$$150 - 140 = 10 \text{ ppm de N}$$

Esto se podría obtener de KNO_3 . Entonces, la cantidad de KNO_3 necesaria para suministrar 10 ppm de N, utilizando el factor de conversión A-B de la tabla 3.2, sería:

$$7,221 \times 10 = 72,21 \text{ mg/l de } \text{KNO}_3$$

Puesto que KNO_3 contiene también potasio (K), tenemos que calcular la cantidad presente utilizando el factor de conversión B-A 0,387 (centro de la tabla 3.2):

$$0,387 \times 72,21 \text{ mg/l} = 28 \text{ mg/l (ppm) de K}$$

Para determinar la cantidad de KNO_3 necesaria para que un tanque de 300 galones USA de nutriente proporcione 10 ppm de N, se hacen los siguientes cálculos:

- 1) Ajuste por impureza de la tabla 3.3 (95% pureza):

$$\frac{100}{95} \times 72,21 = 76 \text{ mg/l}$$

- 2) Para un tanque de 300 galones USA:

$$300 \times 3,7851 = 1.135,5 \text{ l}$$

- 3) Cantidad de KNO_3 necesaria:

$$1.135,5 \times \frac{76 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 86,3 \text{ g}$$

Este peso se puede mantener en gramos, pues es menor que una libra, o bien se puede pasar a libras como sigue:

$$1 \text{ oz} = 28,35 \text{ g}$$

- 4) Conversión a onzas:

$$\frac{86,3 \text{ g}}{28,35 \text{ g}} = 3,0 \text{ oz}$$

Obsérvese que las medidas en gramos son más exactas que en onzas.

Estos cálculos se pueden continuar para todos los elementos esenciales. Los tipos y cantidades de las diversas sales fertilizantes tienen que ser manipulados hasta conseguir la formulación deseada.

En algunos casos, puede surgir un problema si las necesidades de un elemento se satisfacen mediante el uso de un compuesto que contiene dos o más elementos esenciales, pero la concentración de otro elemento excede el nivel requerido.

Por ejemplo, si la formulación del nutriente exige 300 ppm de Ca y 150 ppm de N, el calcio sería suministrado por el nitrato cálcico como sigue:

- 1) Peso de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ necesario (utilizar los factores de conversión de la tabla 3.2):

$$300 \text{ ppm (mg/l)} \times 4,094 = 1.228 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad de N añadida:

$$1.228 \text{ mg/l} \times 0,171 = 210 \text{ mg/l (ppm) de N}$$

Esto da un exceso de 60 ppm de N sobre las 150 ppm recomendadas de N, dadas en la formulación. Por tanto, el nivel de N determinará qué cantidad de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se puede usar como fuente de Ca. Los siguientes pasos tienen que ser calculados de nuevo usando el límite de 150 ppm de N:

- 1) Peso necesario de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (utilizar los factores de la tabla 3.2):

$$150 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,861 = 879 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad añadida de Ca:

$$879 \text{ mg/l} \times 0,244 = 214 \text{ mg/l (ppm) de Ca}$$

Si el nivel recomendado de Ca es 300 ppm, entonces $(300 - 214) = 86$ ppm de Ca tienen que ser suministradas de otras fuentes distintas al $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Puesto que el sulfato cálcico (CaSO_4) es muy insoluble, la única alternativa es usar cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Obsérvese el agua de cristalización en el cloruro cálcico. Esto se ha tenido en cuenta al calcular los factores de conversión de la tabla 3.2.

- 3) Peso de $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ necesario:

$$86 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,467 = 470 \text{ mg/l}$$

- 4) Cantidad de Cl añadido (la tabla 3.2 no tiene factor para la conversión de cloruro cálcico a cloro, por tanto hay que usar la fracción peso atómico):

$$\frac{\text{Peso atómico de cloro}}{\text{Peso molecular de cloruro cálcico}} \times 470 \text{ mg/l}$$

$$\frac{2 (35,5)}{219} \times 470 = 152 \text{ mg/l (ppm) de Cl}$$

Este nivel de cloro es tolerable para las plantas, siempre que el nivel de sodio en el agua y otros fertilizantes usados sea despreciable.

Una vez determinado el peso de cada compuesto en la formulación del nutriente para un volumen de tanque dado, se pueden calcular fácilmente los cambios mediante

El cuarto paso es calcular la cantidad adicional de este segundo elemento necesaria de otra fuente. Por ejemplo, si la formulación del nutriente exigía 150 ppm de N, la cantidad adicional sería:

$$150 - 140 = 10 \text{ ppm de N}$$

Esto se podría obtener de KNO_3 . Entonces, la cantidad de KNO_3 necesaria para suministrar 10 ppm de N, utilizando el factor de conversión A-B de la tabla 3.2, sería:

$$7,221 \times 10 = 72,21 \text{ mg/l de } \text{KNO}_3$$

Puesto que KNO_3 contiene también potasio (K), tenemos que calcular la cantidad presente utilizando el factor de conversión B-A 0,387 (centro de la tabla 3.2):

$$0,387 \times 72,21 \text{ mg/l} = 28 \text{ mg/l (ppm) de K}$$

Para determinar la cantidad de KNO_3 necesaria para que un tanque de 300 galones USA de nutriente proporcione 10 ppm de N, se hacen los siguientes cálculos:

- 1) Ajuste por impureza de la tabla 3.3 (95% pureza):

$$\frac{100}{95} \times 72,21 = 76 \text{ mg/l}$$

- 2) Para un tanque de 300 galones USA:

$$300 \times 76 = 22.800 \text{ mg}$$

- 3) Cantidad de KNO_3 necesaria:

$$22.800 \text{ mg} \times \frac{76 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 86,3 \text{ g}$$

Este peso se puede mantener en gramos, pues es menor que una libra, o bien se puede pasar a libras como sigue:

$$1 \text{ oz} = 28,35 \text{ g}$$

- 4) Conversión a onzas:

$$\frac{86,3 \text{ g}}{28,35 \text{ g}} = 3,0 \text{ oz}$$

Obsérvese que las medidas en gramos son más exactas que en onzas.

Estos cálculos se pueden continuar para todos los elementos esenciales. Los tipos y cantidades de las diversas sales fertilizantes tienen que ser manipulados hasta conseguir la formulación deseada.

En algunos casos, puede surgir un problema si las necesidades de un elemento se satisfacen mediante el uso de un compuesto que contiene dos o más elementos esenciales, pero la concentración de otro elemento excede el nivel requerido.

Por ejemplo, si la formulación del nutriente exige 300 ppm de Ca y 150 ppm de N, el calcio sería suministrado por el nitrato cálcico como sigue:

- 1) Peso de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ necesario (utilizar los factores de conversión de la tabla 3.2):

$$300 \text{ ppm (mg/l)} \times 4,094 = 1.228 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad de N añadida:

$$1.228 \text{ mg/l} \times 0,171 = 210 \text{ mg/l (ppm) de N}$$

Esto da un exceso de 60 ppm de N sobre las 150 ppm recomendadas de N, dadas en la formulación. Por tanto, el nivel de N determinará qué cantidad de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ se puede usar como fuente de Ca. Los siguientes pasos tienen que ser calculados de nuevo usando el límite de 150 ppm de N:

- 1) Peso necesario de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (utilizar los factores de la tabla 3.2):

$$150 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,861 = 879 \text{ mg/l}$$

- 2) Cantidad añadida de Ca:

$$879 \text{ mg/l} \times 0,244 = 214 \text{ mg/l (ppm) de Ca}$$

Si el nivel recomendado de Ca es 300 ppm, entonces $(300 - 214) = 86$ ppm de Ca tienen que ser suministradas de otras fuentes distintas al $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Puesto que el sulfato cálcico (CaSO_4) es muy insoluble, la única alternativa es usar cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Obsérvese el agua de cristalización en el cloruro cálcico. Esto se ha tenido en cuenta al calcular los factores de conversión de la tabla 3.2.

- 3) Peso de $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ necesario:

$$86 \text{ ppm (mg/l)} \times 5,467 = 470 \text{ mg/l}$$

- 4) Cantidad de Cl añadido (la tabla 3.2 no tiene factor para la conversión de cloruro cálcico a cloro, por tanto hay que usar la fracción peso atómico):

$$\frac{\text{Peso atómico de cloro}}{\text{Peso molecular de cloruro cálcico}} \times 470 \text{ mg/l}$$

$$\frac{2 (35,5)}{219} \times 470 = 152 \text{ mg/l (ppm) de Cl}$$

Este nivel de cloro es tolerable para las plantas, siempre que el nivel de sodio en el agua y otros fertilizantes usados sea despreciable.

Una vez determinado el peso de cada compuesto en la formulación del nutriente para un volumen de tanque dado, se pueden calcular fácilmente los cambios mediante

el uso de relaciones. Estos cambios que usan relaciones permiten ajustar los volúmenes o concentraciones del tanque para cualquiera de los elementos. Por ejemplo, para calcular la cantidad necesaria de nitrato cálcico para proporcionar 200 ppm de Ca a un tanque de 500 galones USA, en lugar del tanque original de 300 galones USA utilizado en el ejemplo anterior, hay que utilizar la relación:

$$\frac{500 \text{ gal USA}}{300 \text{ gal USA}} \times 1.034,4 \text{ g} = 1.724 \text{ g} \quad \text{Ca(NO}_3)_2 \quad \text{Ca(NO}_3)_2$$

$$\text{ó: } \frac{500}{300} \times 2,28 \text{ lb} = 3,8 \text{ lb}$$

Esto es: 3 lb + (0,8 lb \times 16 oz = 12,8 oz)

3 lb 12,8 oz

Con frecuencia es necesario cambiar los niveles de los elementos individuales durante los cambios de tiempo, los estados de desarrollo de las plantas o la presencia de deficiencias o toxicidades reveladas por síntomas en las plantas y/o análisis de nutrientes y de tejidos. Por ejemplo, para cambiar la concentración de Ca de 200 ppm a 175 ppm en el mismo volumen de tanque (300 galones USA):

$$\frac{175 \text{ ppm Ca}}{200 \text{ ppm Ca}} \times 1.034,4 \text{ g} = 905 \text{ g de nitrato cálcico}$$

$$\text{ó: } \frac{175}{200} \times 2,28 \text{ lb} = 1,995 \text{ lb; redondeando 2,0 lb}$$

Hay que recordar que esto afecta también al nivel de otros elementos en el compuesto que contenga más de un elemento esencial. El cambio en el nivel de nitrógeno es:

$$\frac{175}{200} \times 140 \text{ ppm N} = 122,5 \text{ ppm N}$$

3.5.3. Cálculo de la sustitución de fertilizantes por productos químicos

En algunas zonas del mundo puede ser muy difícil conseguir los fertilizantes básicos que son precisos para este tipo de cultivo. En este caso es necesario sustituirlos por otros productos químicos que allí existan para así proveer las cantidades necesarias de elementos esenciales. Los cálculos para dichas sustituciones son los siguientes:

1. Sustituir el hidróxido potásico (KOH) y el ácido fosfórico (H_3PO_4) por fosfato diamónico $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$ o fosfato monopotásico (KH_2PO_4) para suplir el fósforo (P) y algún potasio (K).

Hay que tener en cuenta que el KOH debe utilizarse para neutralizar el fuerte ácido del H_3PO_4 . La reacción es:

LA SOLUCION DE NUTRIENTES



$$\text{H}_3\text{PO}_4: M_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 97,99 \text{ (Peso molecular de H}_3\text{PO}_4\text{)}$$

Se necesitan:

$$60 \text{ ppm de P del H}_3\text{PO}_4$$

$$60 \times 3,164 \text{ (de la tabla 3.2)} = 189,8 \text{ mg/l}$$

$$\text{KOH: } M_{\text{KOH}} = 56,108$$

Se necesitan:

$$\begin{array}{r} 189,8 \\ \text{H}_3\text{PO}_4 \\ 97,99 \end{array} + \begin{array}{r} x \\ \text{KOH} \\ 56,108 \end{array}$$

$$X = \frac{189,8 \times 56,108}{97,99} = 108,7 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de K: } \frac{39,1}{56,108} \times 108,7 = 0,6969 \times 108,7 = 75,7 \text{ mg/l}$$

Pero el ácido fosfórico es un líquido; así pues, el peso pedido debe convertirse en medida de volumen.

Para hacer esto debe utilizarse el peso específico o densidad (D).

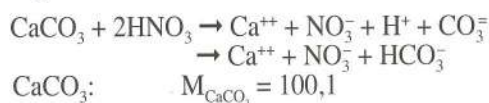
La densidad es la relación del peso al volumen ($D = \frac{W}{V}$). La densidad del ácido fosfórico es 1,834 (ver el Apéndice 4).

Para encontrar el volumen:

$$D = \frac{W}{V} \text{ o } V = \frac{W}{D} \text{ esto es, } V = \frac{189,8}{1,834} = 103,5 \text{ } \mu\text{l/l}$$

2. Sustituir el ácido nítrico (HNO_3) y el carbonato cálcico (CaCO_3) por nitrato cálcico [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$] para suministrar calcio (Ca) y nitrógeno (N). Nótese que el CaCO_3 debe utilizarse para neutralizar la fuerte acidez del HNO_3 . Añadir ácido nítrico al carbonato cálcico hasta que se disuelva todo el sólido. Se puede utilizar ácido nítrico diluido, pero llevará más tiempo disolver el carbonato cálcico.

La reacción es la siguiente:

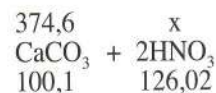


Se necesitan 150 ppm de Ca del CaCO_3 .

$$150 \times \frac{100,1}{40,08} = 374,6 \text{ mg/l}$$

CULTIVOS HIDROPONICOS

$$2\text{HNO}_3 : M_{\text{HNO}_3} = 63,016 \times 2 = 126,02$$



Por tanto:

$$x = \frac{374,6 \times 126,02}{100,1} = 471,6 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de N: } 471,6 \times \frac{14}{63,016} = 104 \text{ mg/l.}$$

Puesto que el HNO_3 es un líquido, debe convertirse a volumen:

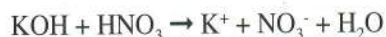
$$D = 1,5027$$

$$D = \frac{W}{V}, \text{ o } V = \frac{W}{D} = \frac{471,6}{1,5027} = 313,8 \mu\text{l/l}$$

Con frecuencia, HNO_3 no es 100% puro; así pues, debe ajustarse con el porcentaje de pureza.

En resumen: 375 mg/l de CaCO_3 y 314 $\mu\text{l/l}$ de HNO_3 darán 150 ppm Ca y 104 ppm N.

3. Sustituir ácido nítrico (HNO_3) y el hidróxido de potasio (KOH) por nitrato de potasio (KNO_3). Nótese que el KOH debe ser utilizado para neutralizar la fuerte acidez del HNO_3 . La reacción es la siguiente:

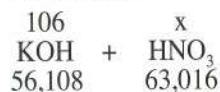


La cantidad de K necesitada para la formulación es 150 ppm. Del KOH utilizado con H_3PO_4 como fuente de P, hay 76 ppm de K, así pues, se necesita: $150 - 76 = 74$ ppm K.

$$\text{KOH: } 74 \times \frac{56,108}{59,1} = 106 \text{ mg/l}$$

HNO_3 :

Se necesita:



$$\text{de donde } X = 106 \times \frac{63,016}{56,108} = 119 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cantidad de N: } 119 \times \frac{14}{63,016} = 26,4 \text{ mg/l}$$

Como el HNO_3 es un líquido, debe ser convertido a volumen:

$$D = 1,5027$$

$$D = \frac{W}{V} \text{ o } V = \frac{W}{D} = \frac{119}{1,5027} = 79,2 \mu\text{l/l}$$

Esto es, 106 mg/l de KOH y 79,2 $\mu\text{l/l}$ de HNO_3 , que darán 74 ppm de K y 26 ppm de N.

4. Para fabricar FeEDTA quelato.

El objetivo es fabricar una solución concentrada, conteniendo 10.000 mg/l (ppm) (1 por 100 de hierro) de quelato de hierro.

1) Disolver 10,4 kg EDTA (ácido) en una solución de 16 kg de KOH en 114 l de agua. Ajustar el peso del KOH utilizado, teniendo en cuenta que el KOH puede no ser 100 por 100 puro. No añadir todo el KOH a la solución inicial, para mantener el pH a 5,5. Si el pH excediese de 5,5, reducirlo añadiendo un 10 por 100 de solución de ácido nítrico (HNO_3). Si el pH es sustancialmente menor de 5,5, añadir KOH disuelto en agua a la solución, removiéndolo lentamente hasta que el pH alcance 5,5.

2) Disolver aparte 10 kg de sulfato ferroso (FeSO_4) en 64 l de agua caliente. Lentamente añadir la solución de sulfato de hierro, y mientras remover la solución de EDTA/KOH de pH 5,5. Si el pH desciende a 5,0, añadir parte de la solución de KOH mientras se remueve fuertemente. Con cada aporte de la solución de KOH aparecerá el precipitado de hidróxido ferroso [$\text{Fe}(\text{OH})_2$]. Como el pH se ajusta por sí solo, éste se disolverá y la disolución se volverá más lenta, mientras el pH de la solución base se eleva cerca del pH 5,5.

3) Después de que todo el sulfato ferroso y la solución de KOH hayan sido añadidas a la solución EDTA/KOH, se pesa la solución final y se ajusta el volumen añadiendo agua hasta que se consiguen 200 kg de peso de la solución final.

Por ejemplo:

Para obtener 5 ppm de hierro en 30.000 litros de agua.

1. La solución principal contiene 10.000 mg/l de hierro.
2. Necesitamos 5 mg/l (ppm) de hierro en la solución nutriente.
3. En 30.000 litros de agua necesitamos:

$$30.000 \times 5 = 150.000 \text{ mg o } 150 \text{ g de hierro}$$

4. Si la solución principal de FeEDTA contiene 10.000 mg/l ó 10 g/l de hierro, necesitamos:

$$\text{Para } 150 \text{ g de hierro: } \frac{150}{10} = 15 \text{ litros de la solución base de FeEDTA.}$$

NOTA: La densidad de un compuesto debiera ser obtenida de los fabricantes, al variar de un producto a otro. En el apéndice se da una tabla general de solubilidades y densidades.

3.5.4. Ajustes en la formulación de nutrientes

Todos los cálculos que hemos explicado en el apartado anterior deben conocerse perfectamente, puesto que las formulaciones de nutrientes durante el cultivo de cualquier cosecha deberán ser reajustadas frecuentemente. Con frecuencia se ha pedido una

TABLA 3.6
Composición de la solución de nutrientes (ppm)

Referencia	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	N como NH ₄ ⁺	N como NO ₃ ⁻	P como PO ₄ ³⁻	S como SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Knop (1865)		244	24		168		206	57	32		Traza					
Shive (1915)		208	484		562		148	448	640		Traza					
Hoagland (1919)	6,8	200	99	12	284		158	44	125	18	Lo necesario					
Jones & Shive (1921)		292	172		102	39	204	65	227		0,83					
*Rothamsted	6,2	116	48		593		139	117	157	17	8	0,25			0,2	
Hoagland & Snyder (1933, 1938)		200	48		234		210	31	64	~1	Lo necesario	0,1	0,014	0,01	0,1	0,016
Hoagland & Arnon (1938)		160	48		234	14	196	31	64		0,63 \$ semana	0,5	0,02	0,05	0,5	0,01
Long Ashton	5,5-	134-	36	30	130-		140-	41	48	3,5	5,6 ó	0,55	0,064	0,065	0,50	0,05
Soln	6,0	300			295		284				2,8					
Eaton (1931)		240	72		117		168	93	96		0,8	0,5			1	
Shive & Robbins (1942)		60	53	92	117		56	46	70	107	Lo necesario	0,15		0,15	~0,1	
Robbins (1946)		200	48		195		196	31	64		0,5	0,25	0,02	0,25	0,25	0,01
White (1943)	4,8	50	72	70	65		47	4	140	31	1,0	1,67	0,005	0,59	0,26	0,001
Duclos (1957)	5-6	136	72		234		210	27	32		3	0,25	0,15	0,25	0,4	2,5
Tumanov (1960)	6-7	300-	50		150		100-	80-	64	4	2	0,5	0,05	0,1	0,5	0,02
		500					150	100								
A. J. Abbott	6,5	210	50		200		150	60	147		5,6	0,55	0,064	0,065	0,5	0,05
E. B. Kidson	5,5	340	54	35	234		208	57	114	75	2	0,25	0,05	0,05	0,5	0,1
Purdue A		200	96		390	28	70	63	607		20	0,3	0,02	0,05	0,5	
(1948) B		200	96		390	28	140	63	447		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
C		120	96		390	14	224	63	64		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
Schwartz (Israel)		124	43		312	*98	93	160								

LA SOLUCION DE NUTRIENTES

Robbins (1946)	200	48	195	196	31	64	70	107	Lo necesario	0,15	0,02	0,25	0,13	-0,1
White (1943)	4,8	50	72	47	4	140	31		0,5	0,25	0,005	0,59	0,26	0,001
Duclos (1957)	5-6	136	72	234	210	27	32		3	0,25	0,15	0,25	0,4	2,5
Tumanov (1960)	6-7	300-	50	150	100-	80-	64	4	2	0,5	0,05	0,1	0,5	0,02
A. J. Abbott	6,5	210	50	200	150	100			5,6	0,55	0,064	0,065	0,5	0,05
E. B. Kidson	5,5	340	54	234	208	57	114	75	2	0,25	0,05	0,05	0,5	0,1
Purdue A	200	96	200	390	28	63	607		20	0,3	0,02	0,05	0,5	
(1948) B	200	96	200	390	28	63	447		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
C	120	96	200	390	14	63	64		1,0	0,3	0,02	0,05	0,5	
Schwartz (Israel)	124	43	312	*98	93	160								
California	160	48	234	15	196	31	64							
New Jersey	180	55	90	20,5	126	71	96							
South Africa	320	50	300	200	200	65								
CDA	A	131	22	209	33	36,7	29,5	188	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
Saanichton	B	146	22	209	33	36,7	29,5	108	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
B. C., Canadá	C	146	22	209	33	36,7	29,5	-	1,7	0,8	0,035	0,094	0,46	0,027
Dr. Pilgrim	C	272	54,3	400	-	143,4	93,0	237,5	-	-	-	-	-	-
Elizabeth	B	204	40,7	300	-	107,6	69,75	178,1	-	-	-	-	-	-
N. C., USA	A	136	27,15	200	-	71,7	46,5	118,75	-	-	-	-	-	-
Dr. H. Resh	C	197	44	400	30	145	65	197,5	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Univ. of B. C.	B	148	33	300	20	110	55	144,3	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Vancouver B. C.	A	98,5	22	200	10	80	40	83,2	2	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
Canadá (1971)														
Dr. H. M. Resh.														
Formulación	Estación seca	250	36	200	53	177	60	129	5	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
para los trópicos	Estación húmeda	150	50	150	32	115	50	52	5	0,5	0,03	0,05	0,5	0,02
(1984)														
(Lechuga)														
Dr. H. M. Resh		200	40	210	25	165	50	113	5	0,5	0,1	0,1	0,5	0,05
Formulación para las lechugas														
Florida, California (1989) (1993)														
Dr. H. M. Resh														
Pepinos														
Florida (1990)														
Plántulas (0-10 días)	100	20	175	3	128	27	26	-	2	0,8	0,07	0,1	0,3	0,03
Diez días hasta primer desarrollo del fruto	220	40	350	7	267	55	53	-	3	0,8	0,07	0,1	0,3	0,03
Madurez, después del primer desarrollo del fruto	200	45	400	7	255	55	82	-	2	0,8	0,1	0,33	0,4	0,05

Añadir 1 mM (14 ppm) por semana hasta alcanzar unas 12 mM (128 ppm), durante las primeras seis-ocho semanas.

«formulación óptima» para diversas cosechas en particular. Sin embargo, con frecuencia estas formulaciones no son perfectas y no pueden serlo, puesto que la formulación óptima depende de muchas variables, las cuales no pueden ser controladas. Una formulación óptima dependerá de las siguientes variables:

1. Especie y variedad de la planta.
2. Estado de desarrollo de la planta.
3. Parte de la planta que será cosechada (raíz, tallo, hoja, fruto).
4. Estación del año-duración del día.
5. Clima-temperatura, intensidad de la luz, horas de sol.

Las diferentes variedades y especies de plantas tienen diferentes necesidades de nutrientes, particularmente nitrógeno, fósforo y potasio. Por ejemplo, la lechuga y otros vegetales utilizados por sus hojas pueden necesitar mayor cantidad de nitrógeno que los tomates o pepinos, mientras que éstos exigen mayores porcentajes de fósforo, potasio y calcio que los anteriores en su solución de nutrientes.

Ulises Durany (1982) afirmó que el nivel de nitrógeno (N) permanecería más bajo ($N = 80$ a 90 ppm) para las especies que producen frutos que para aquellas que producen hojas ($N = 140$ ppm). Para las especies que se cultivan por sus raíces, el potasio (K) debería ser más alto ($K = 300$ ppm). Para lechugas, por otro lado, los niveles relativamente bajos de potasio ($K = 150$ ppm) favorecen el cierre de las cabezas, y así resultan con mayor peso.

Las proporciones entre los distintos elementos deben variar de acuerdo con las especies de plantas, el ciclo de cultivo, el desarrollo de la planta y las condiciones climáticas, particularmente la intensidad o duración de la iluminación.

Las formulaciones de nutrientes están compuestas normalmente de diferentes niveles, según los estados de desarrollo de las plantas en los cuales se utilicen. Las formulaciones específicas para los tomates consisten normalmente en tres niveles A, B y C. Estos niveles se aplican solamente para los macroelementos, mientras que los microelementos se utilizan en la misma cantidad para los tres niveles. La formulación de A es aproximadamente un tercio de la de C, y B es aproximadamente dos tercios de C. No obstante, los elementos de forma individual se ajustan, a menudo, independientemente. La formulación A se utiliza para el primer estado de plántula, o tres hojas perfectamente desarrolladas (plantas de diez a catorce días), hasta que tienen 14 ó 16 pulgadas de altura. La formulación B se utiliza desde que tienen la altura indicada hasta que alcanzan las 24 pulgadas, cuando los frutos iniciales tienen 1/4 a 1/2 pulgadas de diámetro. A partir de este momento se utiliza la fórmula C.

Los pepinos utilizan solamente formulaciones A y B, donde A es aproximadamente la mitad del nivel de B. Del nivel de A se utiliza hasta que los primeros pepinos han aparecido. De la misma forma, las hortalizas utilizadas por sus hojas utilizan también una formulación de dos niveles. El primer nivel (el más bajo) se utiliza hasta que las plantas tienen unas tres semanas y, a partir de aquí, se utiliza el segundo. En general, las plantas cosechadas por sus hojas pueden tolerar cantidades altas de nitrógeno sin que éste produzca un crecimiento vegetativo. De la misma forma, las plantas cosechadas para una producción de frutos deberán tener niveles de nitrógeno más bajos y más altos de fósforo, potasio y calcio. Bajo estas condiciones lumínicas, las plantas utilizarán siempre más nitrógeno que bajo una iluminación pobre. Altos niveles de potasio (K) durante el otoño y los comienzos del invierno mejoran siempre la calidad del fruto. La relación potasio-nitrógeno es muy importante, y deberá variarse según las condiciones climáticas. Durante los largos y soleados

días de verano, las plantas necesitan más nitrógeno y menos potasio que durante los días cortos y oscuros del invierno. Es una práctica común debida a lo anteriormente expuesto el doblar la relación K/N durante el invierno. En la tabla 3.6 se dan algunas formulaciones típicas de nutrientes, obtenidas durante el pasado por diversos investigadores.

Ulises Durany (1982) recomienda que, para el desarrollo de los tomates, durante la fase vegetativa inicial, la proporción N : K deberá ser 1 : 5 (v. g.: 80 ppm N : 400 ppm K), la fase intermedia durante la floración y el cuajado del fruto se debe situar la relación N : K con 1 : 3 (v. g.: 110 ppm N : 330 ppm K) y la etapa de maduración de frutas debería tener una relación N : K de 1 : 1,5 (v. g.: 140 ppm N : 210 ppm K). Esto puede efectuarse utilizando nitrato potásico y nitrato cálcico con sulfato de potasio.

Schwarz (1968) enumeró un elevado número de proporciones de N:P:K para utilizarse durante las estaciones de verano e invierno para diversos cultivos en Europa, Mediterráneo y climas subtropicales (tabla 3.7).

TABLA 3.7
Relaciones N:P:K: recomendadas para las estaciones de verano e invierno en diversas regiones climáticas

Cosecha, clima, estación		N	P	K
Tomate (estado maduro)				
Clima de Europa Central	– verano	1	0,2-0,3	1,0-1,5
	– invierno	1	0,3-0,5	2-4
Climas mediterráneo y subtropical	– verano	1	0,2	1
	– invierno	1	0,3	1,5-2,0
Lechuga y otras hortalizas con hojas	– verano	1	0,2	1
	– invierno	2	0,3	2
La relación amoníaco:nitrato es:				
(NH ₄ :NO ₃)			1:3-4	
			1:4-8	

Modificado de Schwarz (1968), p. 32.

3.6. Soluciones de nutrientes stock

3.6.1. Inyector o sistema de suministro

Los sistemas de inyección del fertilizante se han hecho muy populares entre los agricultores profesionales, ya que ahorran tiempo al reducir el número de preparaciones de soluciones de nutrientes. También funcionan bien en la automatización del ajuste de la solución de nutrientes, utilizando la monitorización e inyección por ordenador de las soluciones stock. Así pues, se pueden mantener soluciones más exactas y estabilizadas. Los sistemas de inyección se utilizan con diseños hidropónicos abiertos y recirculados. Con los análisis de la solución y de los tejidos, se pueden hacer adecuados ajustes en la formulación, cambiando las posiciones en las cabezas del inyector.

Un inyector o dosificador de fertilizante prepara automáticamente la solución nutritiva, inyectando las cantidades programadas de las soluciones concentradas en el

agua de las tuberías de alimentación. De esta forma se consigue una nueva solución de nutrientes en cada ciclo de riego (fig. 3.1). Este tipo de sistema se utiliza como «sistema abierto», en el cual la solución de nutrientes no vuelve a reciclarse. Así se elimina el cambio de la solución de nutrientes. Será necesario efectuar una reposición de los stocks de las soluciones concentradas cada semana, aproximadamente.

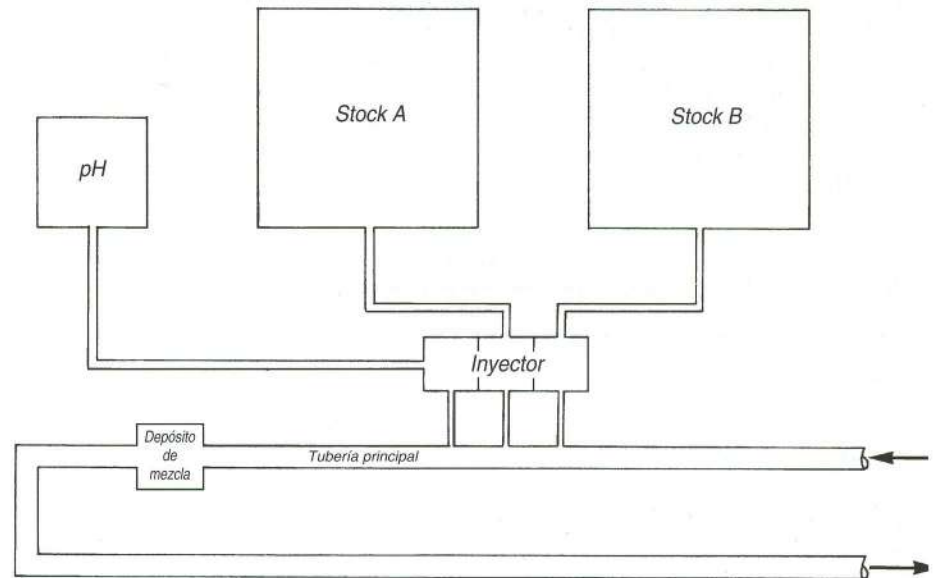


Fig. 3.1. Esquema de un sistema básico de inyector.

Los inyectores se pueden usar también con sistemas de reciclado para ajustar automáticamente la solución nutritiva de retorno. El análisis de la solución de retorno indica las modificaciones que hay que hacer en la solución stock para llevar los nutrientes a los niveles óptimos, antes de regar de nuevo las plantas. Aunque el análisis de la solución de nutrientes tiene que ser realizado por un laboratorio para determinar los niveles de todos los elementos esenciales, los niveles generales de sales totales se pueden determinar mediante un medidor de conductividad eléctrica (EC). El medidor de EC y el medidor de pH funcionan como sensores del ordenador monitorizando el estado actual de las soluciones de salida y de retorno. El ordenador puede entonces activar al inyector para ajustar la solución de nutrientes según los niveles programados almacenados en el ordenador (fig. 3.2). Las formulaciones de las soluciones de nutrientes stock y las posiciones de las cabezas del inyector permiten al operador introducir cambios en la solución nutritiva de salida, para alcanzar los niveles óptimos de nutrientes de cada ion.

Existe un cierto número de diferentes constructores de inyectores (ver Apéndice 5). La elección de uno en particular dependerá del volumen de solución de nutrientes que hay que inyectar en un tiempo dado en galones por minuto (gpm), la precisión requerida para el sistema y la capacidad para ampliar el sistema. Algunos de los mejo-

Diagram illustrating a stock market model. A box labeled "Stock B" is connected to a horizontal line with arrows at both ends, representing a continuous market or trading environment.

mas de reciclado para ajustar auto-
 isis de la solución de retorno indi-
 ción stock para llevar los nutrientes
 plantas. Aunque el análisis de la
 un laboratorio para determinar los
 s generales de sales totales se pue-
 dad eléctrica (EC). El medidor de
 ordenador monitorizando el esta-
 ordenador puede entonces activar
 gún los niveles programados almas-
 de las soluciones de nutrientes
 rmiten al operador introducir cam-
 los niveles óptimos de nutrientes

tores de inyectores (ver Apéndice) el volumen de solución de nutrientes por minuto (gpm), la precisión del sistema. Algunos de los mejo-

res inyectores permiten añadir cabezas de inyector con la ampliación del sistema hidropónico, de forma que no es necesario comprar un nuevo inyector.

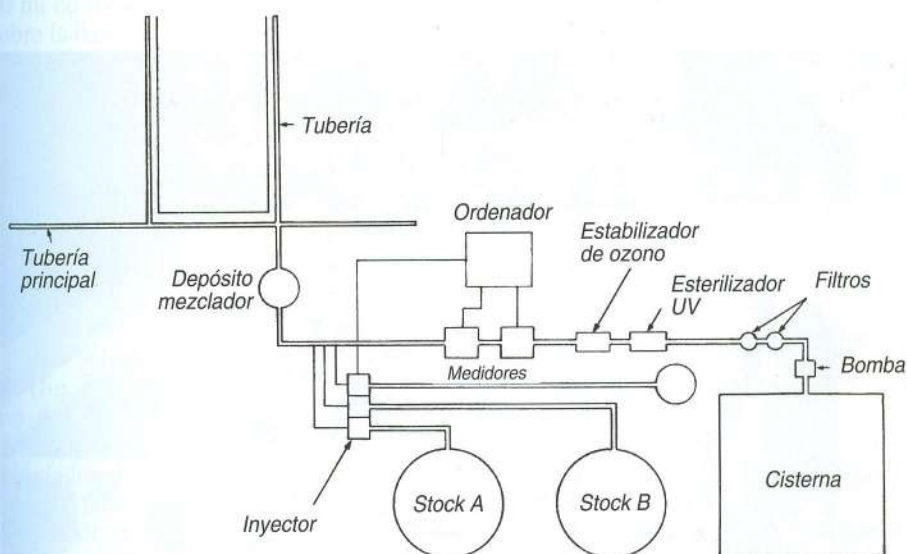


Figura 3.2. Esquema de un sistema de inyección para sistemas de recirculación. Obsérvese la esterilización de la solución de nutrientes antes de que retorne a las plantas.

Por ejemplo, una instalación hidropónica para el cultivo de hierbas de 3 acres (1,2 hectáreas) utilizaba un inyector Anderson con 5 cabezas, como muestra la figura 3.3. El sistema estaba formado por una tubería principal de agua de 3 pulgadas de diámetro (7,6 cm) formando un circuito cerrado con el inyector, un depósito mezclador y un filtro colocado antes de llegar al sistema de riego de las bancadas hidropónicas. El agua fluye de derecha a izquierda en el sistema que aparece en la figura 3.3.

Un sensor de rueda de paletas aguas arriba del inyector (extremo derecho de la figura 3.3) controla el flujo de agua. Cada 4 galones (15 l) de agua que pasan, el sensor manda impulsos al controlador (la caja gris sobre el panel blanco mostrado en la figura 3.4). El controlador activa un golpe del inyector cada 4 galones (15 l) de agua que pasan por el circuito principal. El golpe tiene lugar cuando el controlador envía una corriente eléctrica a la válvula solenoide del inyector, abriendo la válvula y permitiendo que la presión del agua haga funcionar los diafragmas de las cabezas del inyector. El agua pasa a través de un filtro de 200 micrones antes de entrar en el solenoide, para evitar que cualquier limo dañe a la válvula. Cuando el agua a presión (mínimo de 15-20 psi ó 103,5-138 kPa) entra en la parte posterior del diafragma de cada cabeza, empuja al diafragma hacia adelante, provocando el desplazamiento de la solución stock situada enfrente de él. Dicha solución fluye al circuito principal a través de unas tuberías. Las válvulas que evitan la marcha atrás, situadas en las cabezas del inyector y en las entra-

das a la tubería de la solución stock en el circuito principal, impiden que la solución retroceda en el golpe de retorno de los diafragmas (fig. 3.3). Este sistema de inyección tiene 5 cabezas: dos para el stock A, dos para el stock B y una cabeza más pequeña para el ácido (a la izquierda de la fig. 3.3).

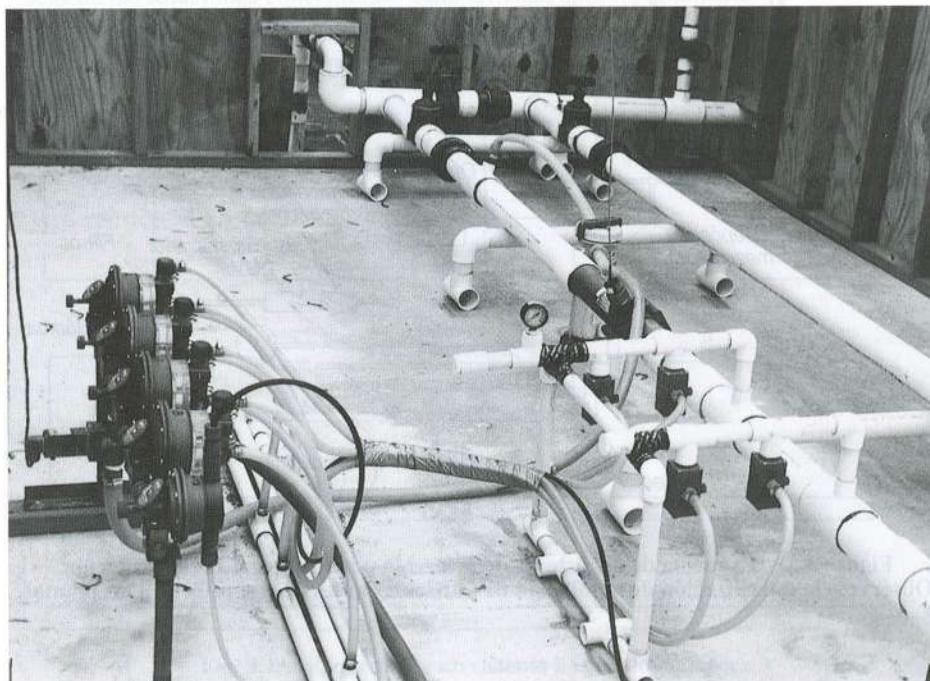
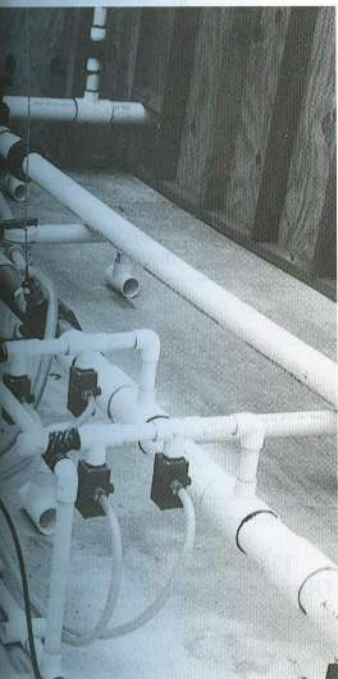


Figura 3.3. Inyector Anderson con cinco cabezas (a la izquierda), un sensor de rueda de paletas en la tubería principal (área gris sobre el tubo antes de las tuberías de entrada desde el inyector). El agua fluye de atrás hacia adelante. Unas mangueras flexibles conectan los tubos del tanque de stock en el suelo con las cabezas del inyector, y éstas con las válvulas que impiden el flujo hacia atrás, situadas en tubos de una pulgada de diámetro conectados con la tubería principal.

Cada golpe del inyector desplaza 40 ml de la solución stock por cabeza en la posición «10» sobre el dial de la cabeza. En un funcionamiento óptimo del inyector de 32 golpes por minuto, el flujo máximo a través del sistema es: $32 \times 4 \text{ gal} = 128 \text{ gal/min}$ (484,5 l/min). La relación stock fertilizante a agua obtenida por cabeza es de 40 ml:15.141 ml (4 gal USA), o sea 1:378. Para dos cabezas, la relación es de 80 ml:15.141 ml, ó 1:189. Para obtener una dilución 1:200, poner el dial de cada cabeza de los stocks A y B en 9,5. Esta posición da: $9,5/10 \times 40 \text{ ml} = 38 \text{ ml}$ de la solución de nutrientes de concentración 200. La relación para las dos cabezas de cada solución stock es de 76 ml:15.141, o sea 1:200 (fertilizante para regar).

Para un sistema mayor, el impulso desde el sensor de rueda con paletas se aumenta en el controlador. Por ejemplo, si la posición se aumenta a un golpe por 5 galones (19 l),

principal, impiden que la solución (fig. 3.3). Este sistema de inyección B y una cabeza más pequeña para



izquierda), un sensor de rueda de antes de las tuberías de entrada ante. Unas mangueras flexibles las cabezas del inyector, y éstas con las en tubos de una pulgada de ría principal.

ción stock por cabeza en la posición óptimo del inyector de 32 es: $32 \times 4 \text{ gal} = 128 \text{ gal/min}$ agua obtenida por cabeza es de dos cabezas, la relación es de 1:200, poner el dial de cada cabeza $32 \times 40 \text{ ml} = 38 \text{ ml}$ de la solución de las dos cabezas de cada solución (para regar).

or de rueda con paletas se aumenta a un golpe por 5 galones (19 l),

el funcionamiento óptimo permitiría un flujo de $5 \text{ gal} \times 32 \text{ golpes/min} = 160 \text{ gal/min}$ (606 l/min). Sin embargo, si se requiere todavía una proporción 1:200, habría que instalar una cabeza adicional en el inyector. Cada cabeza solamente es capaz de desplazar 40 ml de solución stock por golpe. La dilución máxima de un inyector de dos cabezas, sobre la base de 5 gal/golpe, es de 80 ml:18.927 ml (5 gal USA), o bien 1:236.

Alternativamente, la concentración de las soluciones stock se podría incrementar por encima de 236. Siguiendo estos principios, el sistema de inyección se puede ampliar con cabezas adicionales, para trabajar con volúmenes mayores de flujo de agua.

Las entradas de las soluciones stock A y B al circuito principal están separadas al menos 18 pulgadas (46 cm), de forma que la mezcla adecuada con agua tenga lugar antes de que entren en contacto una con otra. Cuando el agua y el nutriente descienden, se mezclan posteriormente en un depósito mezclador de 80 galones (303 litros), como muestra la figura 3.4. El ácido entra en el circuito principal unos pies (60 cm) por debajo de las soluciones stock (pequeña tubería negra que entra por debajo del circuito principal en la figura 3.3).

Las soluciones stock y el ácido entran en las cabezas del inyector por un tubo flexible (fig. 3.3), desde las tuberías principales conectadas con los tanques de las soluciones A y B de 1.500 galones (5.678 litros) y con el tanque de ácido de 30 galones (114 litros) (fig. 3.4). El circuito principal lleva la solución mezclada desde el tanque mezclador al sistema de cultivo hidropónico (fig. 3.4). Un filtro de 200 mesh (200 espacios por pulgada) instalado aguas abajo elimina cualquier materia extraña antes de que la solución entre en el sistema de riego por goteo.

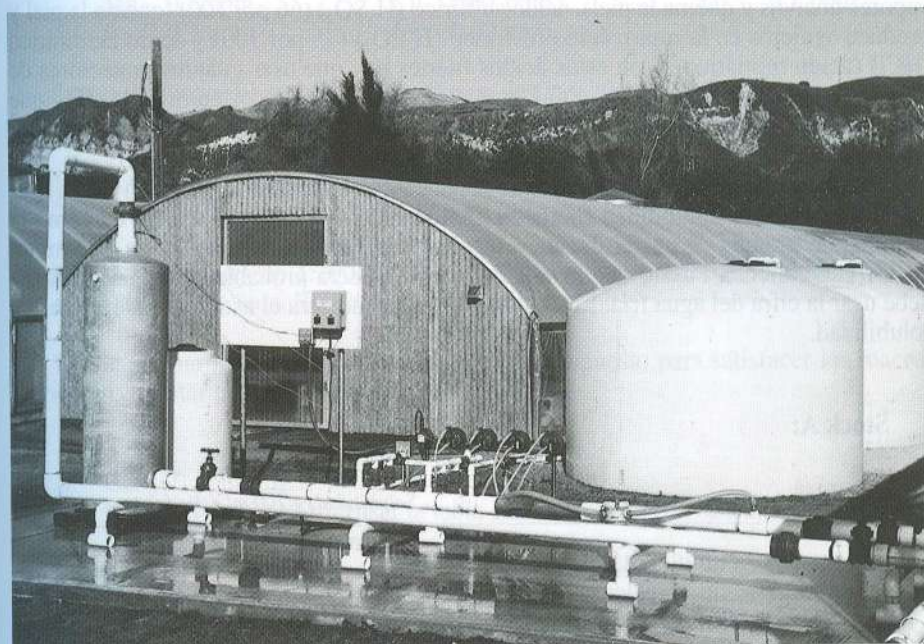


Fig. 3.4. Tanques de stock A y B y tanque de ácido de 30 galones próximo al depósito mezclador (depósito vertical de acero galvanizado a la izquierda), inyector y circuito de la tubería principal.

3.6.2. Soluciones stock

Las soluciones stock son soluciones concentradas de nutrientes. Dependiendo de la capacidad del inyector, las soluciones stock se pueden preparar con concentraciones 50, 100 ó 200 veces la concentración normal. Un segundo factor que puede limitar el grado de concentración de la solución stock es el de la solubilidad del fertilizante. El fertilizante menos soluble será el factor limitante de toda la solución stock. Cuando se determine la concentración de la solución stock, remitirse a la información sobre «constantes físicas de los compuestos inorgánicos», que aparece en el Apéndice 4.

Hay que preparar dos soluciones stock separadas y una solución de ácido en tanques individuales. Generalmente son llamadas «stock A», «stock B» y «ácido». La razón de las soluciones separadas es que se produciría la precipitación entre los sulfatos y nitratos de algunos compuestos si se mezclaran a altas concentraciones. Por ejemplo, los sulfatos potásico o magnésico precipitarían con el calcio del nitrato cálcico.

El stock A puede contener la mitad de las necesidades totales de nitrato potásico y todas las de nitrato cálcico, nitrato amónico, ácido nítrico (para rebajar el pH de la solución stock por debajo de 5,0) y quelato de hierro. El stock B estaría formado por la otra mitad del nitrato potásico, todo el sulfato potásico, fosfato monopotásico, ácido fosfórico y sulfato magnésico y el resto de micronutrientes, excepto el hierro. La solución stock de ácido se diluye hasta aproximadamente el 15-20 % de la forma concentrada líquida disponible en el comercio. Tener siempre cuidado con estos ácidos fuertes, pues causan graves heridas a las personas. Añadir el ácido al agua, ¡nunca lo contrario!

Algunos de los ácidos usados son: ácido nítrico (HNO_3) (42 por 100) (produce vapores nocivos y quema la piel), ácido sulfúrico (H_2SO_4) (66 por 100) (quema la piel y produce agujeros en la ropa), ácido fosfórico (H_3PO_4) (75 por 100) y ácido clorhídrico (HCl) (ácido muriático). Con estos ácidos fuertes hay que usar guantes protectores de plástico o de goma, delantales, gafas protectoras y un respirador autorizado. Hay que tener especial cuidado con el ácido nítrico, pues desprende gases tóxicos cuando entra en contacto con el aire.

Para determinar el límite superior de la concentración para una solución stock, usar los productos cuya solubilidad figura en el Apéndice 4. La solubilidad se da como la cantidad de gramos de un fertilizante específico que puede ser disuelta en 100 ml de agua fría o caliente. Puesto que la solución stock no será probablemente calentada, se debe usar la cifra del agua fría. El siguiente ejemplo muestra el uso de estos factores de solubilidad.

Stock A:

Compuesto	Solubilidad (g/100 ml agua fría)
* Nitrato potásico	13,3
Nitrato cálcico	121,2
Nitrato amónico	118,3
Acido nítrico	Sin límite
Quelato de hierro	No figura en la tabla, pero es muy soluble

Stock B:

Compuesto	Solubilidad (g/100 ml de agua fría)
Nitrato potásico	13,3
* Sulfato potásico	12,0
Fosfato monopotásico (fosfato potásico dihidrógeno)	33,0
Acido fosfórico	548
Sulfato magnésico	71

* NOTA: Estos son los compuestos menos solubles y posiblemente los limitantes, dependiendo de los pesos requeridos de cada uno. Aunque se incluirán micronutrientes en la solución stock B, no han sido incluidos en esta lista de solubilidades porque se requerirán en cantidades muy pequeñas, que no sobrepasarán sus solubilidades en la concentración 200.

Para mostrar los cálculos de una solución stock, se utilizará la siguiente formulación de nutrientes:

N - 200 ppm	P - 50 ppm	K - 300 ppm
Ca - 200 ppm	Mg - 40 ppm	Fe - 5 ppm
Mn - 0,8 ppm	Cu - 0,07 ppm	Zn - 0,1 ppm
B - 0,3 ppm	Mo - 0,03 ppm	

Supongamos que el agua contiene 30 ppm de Ca y 20 ppm de Mg. Los ajustes de la formulación son entonces:

1. La cantidad de Ca a añadir será 170 ppm (200 - 30).
2. La cantidad de Mg a añadir es 20 ppm (40 - 20).

Utilizando tanques de 1.200 galones USA para almacenar cada solución stock, y una concentración de solución de 200, el procedimiento es:

1. Determinar la cantidad necesaria de cada compuesto para satisfacer los macro-nutrientes y ajustar por impurezas.

A. Ca: 170 ppm (mg/l)

- (i) Peso de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (usar la tabla 3.2 factores de conversión):
 $170 \times 4,094 = 696 \text{ mg/l}$

- (ii) Ajustar por impurezas con la tabla 3.3 (90 por 100 puro)

$$\frac{100}{90} \times 696 = 773 \text{ mg/l}$$

2. Calcular la cantidad del compuesto para la concentración de la solución stock (200 en este caso).

$$200 \times 773 \text{ mg/l} = 154.600 \text{ mg/l} \text{ ó: } 154,6 \text{ g/l} \\ (1.000 \text{ mg} = 1 \text{ g})$$

3. Comparar esta cantidad con la solubilidad dada en g/100 ml de agua fría.

- (i) Convertir a g/100 ml:
 $154,6 \text{ g/l} \quad 1 \text{ l} = 1.000 \text{ ml}$
 Esto es, $154,6 \text{ g/1.000 ml}$
 ó: $15,46 \text{ g/100 ml}$ (dividir por 10 para obtener 100 ml)

- (ii) Comparar con la solubilidad:
 $15,46 \text{ g/100 ml}$ contra $121,2 \text{ g/100 ml}$

Por consiguiente, esta cantidad está dentro de los límites de solubilidad del nitrato cálcico.

4. Continuar los cálculos para todos los compuestos de macronutrientes.

B. N: Necesitamos un total de 200 ppm de todas las fuentes. Supongamos que deseamos usar algo de nitrato amónico para suministrar 10 ppm de N procedente de NH_4 .

- (i) Cantidad de N en $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ añadido:
 696 mg/l de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (antes de ajuste por pureza)
 $696 \text{ mg/l} \times 0,171$ (factor de la tabla 3.2) = 119 mg/l (ppm)

- (ii) Balance necesario de otras fuentes distintas al nitrato cálcico:
 $200 - 119 = 81 \text{ ppm}$ (mg/l)

- (iii) Cantidad de NH_4NO_3 necesaria para obtener 10 ppm de $\text{NH}_4 - \text{N}$ y 10 ppm de $\text{NO}_3 - \text{N}$ (que hace un total de 20 ppm N de NH_4NO_3):
 $20 \text{ mg/l} \times 2,857$ (factor de la tabla 3.2) = 57 mg/l

- (iv) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 57 \text{ mg/l} = 58 \text{ mg/l}$$

- (v) Para la concentración 200:
 $200 \times 58 \text{ mg/l} = 11.600 \text{ mg/l}$ ó: $11,6 \text{ g/l}$

- (vi) Expresar en g/100 ml y comparar con la solubilidad:
 $11,6 \text{ g/l} = 1,16 \text{ g/100 ml}$ (dividir por 10, pues $1 \text{ l} = 1.000 \text{ ml}$)

$$1,16 \text{ g/100 ml} \text{ contra } 118,3 \text{ g/100 ml}$$

Por tanto, el nivel de nitrato amónico está dentro del límite de solubilidad.

- (vii) Balance de N requerido de otras fuentes distintas al nitrato cálcico y al nitrato amónico:

$$200 - (119 + 20) = 61 \text{ ppm (mg/l)}$$

- (viii) La fuente final de N es KNO_3 :

$$61 \text{ mg/l} \times 7,221 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 440,5 \text{ mg/l}$$

- (ix) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 95 por 100)

$$\frac{100}{95} \times 440,5 \text{ mg/l} = 464 \text{ mg/l}$$

- (x) Para la concentración 200:

$$200 \times 464 \text{ mg/l} = 92.800 \text{ mg/l ó } 92,8 \text{ g/l}$$

- (xi) Expresar en g/100 ml y comparar con la solubilidad:

$$92,8 \text{ g/l} = 9,28 \text{ g/100 ml}$$

$$9,28 \text{ g/100 ml contra } 13,3 \text{ g/100 ml}$$

Esto está dentro del límite de solubilidad. Obsérvese que la mitad del nitrato potásico es añadido al stock A y la otra mitad al stock B.

Por consiguiente, en realidad se añaden $9,28/2 = 4,62 \text{ g/100 ml}$ de concentración a cada tanque.

C. K: 300 ppm (mg/l)

- (i) Cantidad de K en KNO_3 usado:

$$440,5 \text{ mg/l} \times 0,387 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 170,5 \text{ mg/l}$$

- (ii) Balance de K necesario: $300 - 170 = 130 \text{ mg/l}$

- (iii) Otras fuentes: KH_2PO_4 y K_2SO_4

Calcular primero la cantidad de KH_2PO_4 a usar para obtener 50 ppm de P.

D. P: 50 ppm (mg/l) de KH_2PO_4

- (i) $50 \text{ mg/l} \times 4,394 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 220 \text{ mg/l}$

- (ii) Ajuste por pureza (tabla 3.3 - 98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 220 \text{ mg/l} = 224 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{224 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 44,8 \text{ g/l ó: } 4,5 \text{ g/100 ml}$$

(iv) Comparar con la solubilidad:

4,5 g/100 ml contra 33,0 g/100 ml

Esta cifra está muy por debajo del límite de solubilidad.

Volver a calcular ahora las necesidades de K de otras fuentes (ver C anterior).

K: 300 ppm (mg/l)

(v) Cantidad de K en 220 mg/l de KH_2PO_4

$$220 \text{ mg/l} \times 0,287 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 63 \text{ ppm}$$

(vi) Balance de K necesario: $300 - (170 + 63) = 67 \text{ ppm (mg/l)}$

(vii) Cantidad de K_2SO_4 :

$$67 \text{ mg/l} \times 2,229 = 149 \text{ mg/l}$$

(viii) Ajuste por pureza (90 por 100):

$$\frac{100}{90} \times 149 \text{ mg/l} = 166 \text{ mg/l}$$

(ix) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{166 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 33,2 \text{ g/l ó: } 3,32 \text{ g/100 ml}$$

(x) Comparar con la solubilidad:

3,32 g/100 ml contra 12,0 g/100 ml

Este nivel está dentro del límite de solubilidad.

E. Mg: 20 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de MgSO_4 requerido:

$$20 \text{ mg/l} \times 10,14 = 203 \text{ mg/l}$$

(ii) Ajuste por pureza (98 por 100)

$$\frac{100}{98} \times 203 \text{ mg/l} = 207 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times \frac{207 \text{ mg}}{1.000 \text{ mg}} = 41,4 \text{ g/l ó: } 4,14 \text{ g/100 ml}$$

(iv) Comparar con la solubilidad:

4,14 g/100 ml contra 71 g/100 ml

Este nivel es soluble.

5. Convertir los pesos de todos los compuestos a las cantidades correspondientes a tanques de stock de 1.200 galones USA.

A. Convertir 1.200 galones USA a litros:

$$1.200 \times 3,785 \text{ l} = 4.542 \text{ l}$$

B. Calcular los pesos de cada compuesto para este volumen.

(i) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: 154,6 g/l

$$154,6 \times 4.542 = 702.193 \text{ g ó: } 702,2 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 702,2 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 1.545 \text{ lb}$$

(ii) NH_4NO_3 : 11,6 g/l

$$11,6 \times 4.542 = 52.687 \text{ g ó: } 52,7 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 52,7 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 116 \text{ lb}$$

(iii) KNO_3 : 92,8 g/l

$$92,8 \times 4.542 = 421.498 \text{ g ó: } 421,5 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 421,5 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 927 \text{ lb}$$

NOTA: Este total de 927 lb se dividirá en dos partes iguales, una para cada tanque de stock. Por tanto, se deben añadir $927/2 = 463,5 \text{ lb}$ a cada uno de los tanques de stock A y B.

(iv) KH_2PO_4 : 44,8 g/l

$$44,8 \times 4.542 = 203.482 \text{ g ó: } 203,5 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 203,5 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 448 \text{ lb}$$

(v) K_2SO_4 : 33,2 g/l

$$33,2 \times 4.542 = 150.794 \text{ g ó: } 150,8 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 150,8 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 332 \text{ lb}$$

(vi) MgSO_4 : 41,4 g/l

$$41,4 \times 4.542 = 188.039 \text{ g ó: } 188 \text{ kg}$$

$$\text{Esto es: } 188 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 414 \text{ lb}$$

7. Calcular ahora los pesos para cada uno de los compuestos de micronutrientes.

A. Fe: 5 ppm (mg/l)

(i) Fuente: FeEDTA (10 % Fe)
 $5 \text{ mg/l} \times 10,0 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 50 \text{ mg/l}$

(ii) Para la concentración 200:
 $200 \times 50 \text{ mg/l} = 10.000 \text{ mg/l}$ ó: 10 g/l

(iii) Para 1.200 galones USA (4.542 l):
 $10 \times 4.542 = 45.420 \text{ g}$ ó: 45,4 kg

Esto es: $45,4 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 100 \text{ lb}$

B. Mn: 0,8 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de MnSO_4
 $0,8 \text{ mg/l} \times 4,061 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 3,25 \text{ mg/l}$

(ii) Ajuste por porcentaje de pureza. La pureza de los compuestos, especialmente los de los micronutrientes, difieren según el productor. El agricultor debe obtener el porcentaje exacto de pureza, para un producto dado, del distribuidor del fertilizante. A efectos de cálculo, utilizaremos una pureza del 90 por 100. Se pueden hacer ajustes después de que se haya realizado un análisis de la solución. El nivel real de cada elemento se puede comparar con el nivel teórico esperado de cada uno.

$$\frac{100}{90} \times 3,25 \text{ mg/l} = 3,6 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:
 $200 \times 3,6 \text{ mg/l} = 720 \text{ mg/l}$ ó: 0,72 g/l

(iv) Para 1.200 galones USA (4.542 l):
 $0,72 \times 4.542 = 3.270 \text{ g}$ ó: 3,27 kg

Esto es: $3,27 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} = 7,2 \text{ lb}$
 ó: 7 lb 3 oz (1 lb = 16 oz; $0,2 \times 16 = 3 \text{ oz}$)

C. Cu: 0,07 ppm (mg/l)

(i) Fuente: CuSO_4
 $0,07 \text{ mg/l} \times 3,93 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 0,275 \text{ mg/l}$

(ii) Porcentaje de pureza (98 por 100):

os compuestos de micronutrientes.

0 mg/l

3,25 mg/l

reza de los compuestos, especial-
n según el productor. El agricultor
za, para un producto dado, del dis-
lculo, utilizaremos una pureza del
pués de que se haya realizado un
cada elemento se puede comparar

0,275 mg/l

$$\frac{100}{98} \times 0,275 \text{ mg/l} = 0,281 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:
 $200 \times 0,281 \text{ mg/l} = 56 \text{ mg/l}$ ó: 0,056 g/l

(iv) Para 1.200 galones USA:
 $0,056 \times 4.542 = 254 \text{ g}$

Puesto que esta cantidad es menor que una libra, es más seguro pesarla utilizando una escala en gramos.

D. Zn: 0,1 ppm (mg/l)

(i) Fuente: ZnEDTA (14 por 100 polvo)
 $0,1 \text{ mg/l} \times 7,143 = 0,7143 \text{ mg/l}$

(ii) Para la concentración 200:
 $200 \times 0,7143 \text{ mg/l} = 143 \text{ mg/l}$ ó: 0,143 g/l

(iii) Para 1.200 galones USA:
 $0,143 \times 4.542 = 650 \text{ g}$ ó: 1,43 lb,
que son 1 lb 7 oz

E. B: 0,3 ppm (mg/l)

(i) Fuente: H_3BO_3
 $0,3 \text{ mg/l} \times 5,717 = 1,715 \text{ mg/l}$

(ii) Porcentaje de pureza (aproximadamente el 95 por 100)

$$\frac{1}{1.000.000} \times 1,715 \text{ mg/l} = 1,805 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:
 $200 \times 1,805 \text{ mg/l} = 361 \text{ mg/l}$ ó: 0,361 g/l

(iv) Para 1.200 galones USA:
 $0,361 \times 4.542 = 1.640 \text{ g}$ ó: 3,61 lb

Esto es: 3 lb 10 oz

F. Mo: 0,03 ppm (mg/l)

(i) Fuente: molibdato amónico
 $0,03 \text{ mg/l} \times 1,733 = 0,052 \text{ mg/l}$

CULTIVOS HIDROPONICOS

(ii) El porcentaje de pureza es aproximadamente el 95 por 100:

$$\frac{100}{95} \times 0,052 \text{ mg/l} = 0,055 \text{ mg/l}$$

(iii) Para la concentración 200:

$$200 \times 0,055 \text{ mg/l} = 11 \text{ mg/l}$$

(iv) Para 1.200 galones USA:

$$11 \times 4.542 = 49.962 \text{ mg ó: } 50 \text{ g}$$

8. Construir una tabla para resumir toda la información.

	Compuesto	Peso (lb)	Solubilidad Stock (g/100 ml)	Solubilidad máxima (g/100 ml)	Elementos de la sol. de nutrientes (ppm) después de inyección
STOCK A: (× 200) (tanque de 1.200 gal)	KNO ₃	463,5	4,64	13,3	K - 85 N - 30,5
	Ca(NO ₃) ₂	1.545	15,46	121,2	Ca - 170 N - 119
	NH ₄ NO ₃	116	1,16	118,3	N - 20
	FeEDTA	100	—	Muy sol.	Fe - 5
	*HNO ₃	—	—	Sin límite	
STOCK B: (× 200) (tanque de 1.200 gal)	KNO ₃	463,5	4,64	13,3	K - 85 N - 30,5
	K ₂ SO ₄	332	3,32	12,0	K - 67
	KH ₂ PO ₄	448	4,5	33,0	K - 63 P - 50
	MgSO ₄	414	4,14	71	Mg - 20
	*H ₃ PO ₄	—	—	548	
	MnSO ₄	7 lb 3 oz	—	105,3	Mn - 0,8
	CuSO ₄	254 g	—	31,6	Cu - 0,07
	ZnEDTA	1 lb 7 oz	—	Muy sol.	Zn - 0,1
	H ₃ BO ₃	3 lb 10 oz	—	6,35	B - 0,3
	NH ₄ -Mo	50 g	—	43	Mo - 0,03

*Estos ácidos son añadidos en suficiente cantidad para bajar el pH a 5,5. El ácido fosfórico (H₃PO₄) puede ser sustituido por KH₂PO₄ como fuente de P. Ajustar entonces los restantes compuestos que contienen K, especialmente K₂SO₄, pues no se puede obtener ningún K de H₃PO₄.

Totales de la solución de nutrientes: NO₃ - N: 190 ppm; NH₄ - N: 10 ppm; P: 50 ppm; K: 300 ppm.

e el 95 por 100:

ación.

Solubilidad máxima (g/100 ml)	Elementos de la sol. de nutrientes (ppm) después de inyección
13,3	K - 85 N - 30,5
121,2	Ca - 170 N - 119
118,3	N - 20
Muy sol.	Fe - 5
Sin límite	
13,3	K - 85 N - 30,5
12,0	K - 67
33,0	K - 63 P - 50
71	Mg - 20
548	
105,3	Mn - 0,8
31,6	Cu - 0,07
Muy sol.	Zn - 0,1
6,35	B - 0,3
43	Mo - 0,03

órico (H_2PO_4) puede ser sustituido por KH_2PO_4 ,
ente K_2SO_4 , pues no se puede obtener ningún K

ppm; NH_4 - N: 10 ppm; P: 50

El agua en este ejemplo contenía 30 ppm de Ca y 20 ppm de Mg. Esto lleva el total de Ca a 200 ppm y el de Mg a 40 ppm en la solución final de nutrientes después de la inyección.

Las soluciones stock requieren una agitación continua para prevenir la sedimentación de algunos de los compuestos fertilizantes. Esto se puede conseguir de varios modos. Por encima de la apertura del tanque, se puede instalar un motor que tenga un mango largo con una pala tipo hélice en su extremo, como se muestra en la figura 3.5. La pala y el mango deben estar sumergidos hasta una posición muy próxima al fondo del tanque. Es muy importante que tanto la pala como el mango sean de acero inoxidable, para resistir la naturaleza corrosiva de la solución nutritiva. Se puede colocar una bomba sumergible en el fondo de cada tanque para hacer que circule la solución. Pero tiene que estar herméticamente cerrada y tener un agitador de plástico o acero inoxidable y tornillos también de acero inoxidable que sujeten los componentes de la bomba. Si hay tornillos de acero normal o galvanizados en contacto con la solución de nutrientes, serán disueltos por la naturaleza electrolítica de la solución en varias semanas.

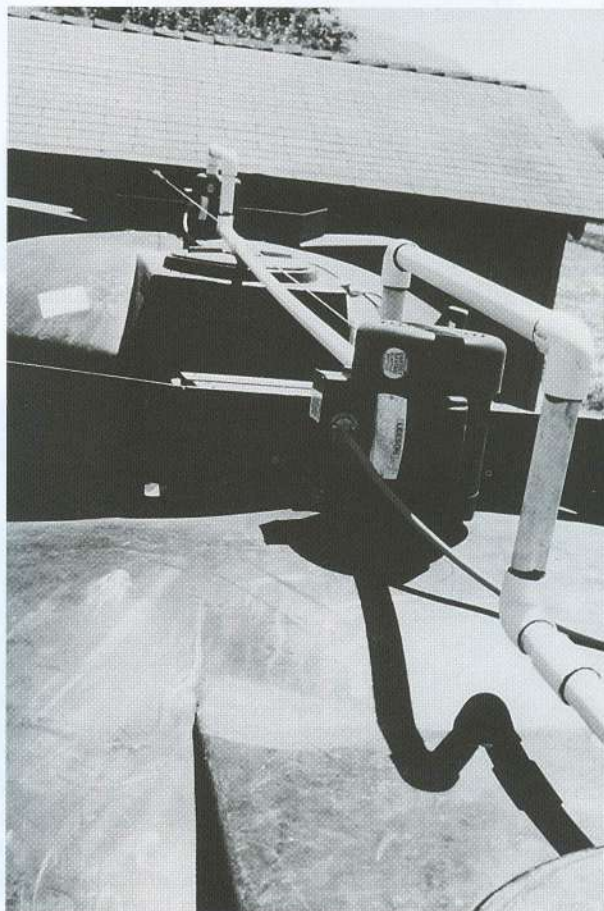


Figura 3.5. Tanques de stock (2.300 galones) A y B con bombas de circulación. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

Esto expondría entonces el motor a la solución, y el operador podría recibir fácilmente una descarga eléctrica cuando trabajara con el sistema de inyección.

Una alternativa a estos métodos es utilizar una bomba de circulación que tenga componentes resistentes a las soluciones corrosivas, como una bomba de circulación para piscinas. La bomba se colocaría fuera y cerca de cada tanque (una bomba por tanque). Una tubería de PVC de al menos una pulgada y media de diámetro conectaría las entradas y salidas de la bomba al fondo del tanque de la solución stock, tal como aparece en la figura 3.6. Colocar un codo al final de la línea de salida del tanque para desviar la solución alrededor del tanque. La entrada requiere una válvula de comprobación en su extremo próximo a la base del tanque, para que la bomba se pueda cebar. La bomba debe estar anclada en una base de hormigón o en un soporte de madera dura, con pernos de anclaje que impidan que cambie de posición. La bomba debe funcionar continuamente.

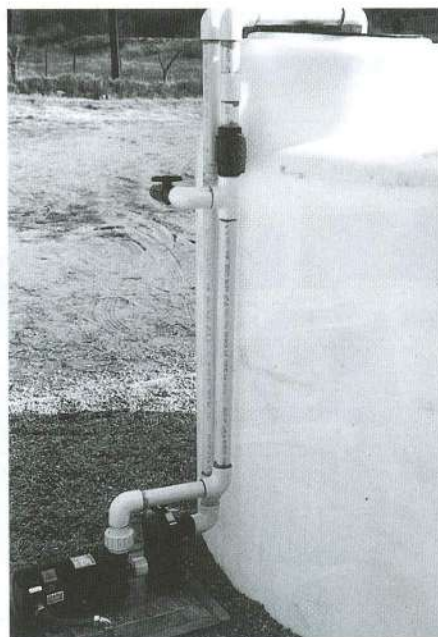


Figura 3.6. Bomba de circulación con tuberías para agitar la solución stock.

Con pequeños tanques de stock de menos de 500 galones, se puede utilizar una bomba de aire para agitar la solución. Conectar la bomba de aire utilizando tubería de polietileno de 1/2 pulgada de diámetro y una T que forme una línea para cada tanque. Conectar la tubería de polietileno con un adaptador a una tubería de PVC de 3/4 de pulgada de diámetro para llevar el aire a la base del tanque (fig. 3.7). Una válvula de bola de plástico instalada en cada tubería de PVC permitirá equilibrar el flujo de aire entre los tanques. Cuando se prepare una nueva solución stock, extraer lo que queda de la solución anterior y limpiar el tanque con una bomba sumergible. Después de su uso, lavar la bomba sumergible con agua limpia para evitar la corrosión.

La solución stock de ácido no requiere agitación, pues los ácidos se disuelven bien en agua y no forman precipitados.

operador podría recibir fácilmente de inyección. ba de circulación que tenga com- una bomba de circulación para tanque (una bomba por tanque). de diámetro conectaría las entra- ción stock, tal como aparece en la a del tanque para desviar la solu- válvula de comprobación en su ba se pueda cebar. La bomba debe e de madera dura, con pernos de a debe funcionar continuamente.

Para facilitar el llenado de los tanques de stock, instalar una tubería de agua de una pulgada de diámetro por encima de los tanques (fig. 3.5). En la entrada de cada tanque, acoplar una válvula de entrada. Para grandes operaciones, los tanques de stock deben ser al menos de 2.300 galones, como aparece en la figura 3.8.



Figura 3.7. Mezclador con bomba de aire para pequeños tanques de la solución stock. (Cortesía de CuisinArt Resort & Spa, Anguilla).

para agitar la solución stock.

00 galones, se puede utilizar una mba de aire utilizando tubería de forme una línea para cada tanque. una tubería de PVC de 3/4 de pul- ue (fig. 3.7) . Una válvula de bola rá equilibrar el flujo de aire entre stock, extraer lo que queda de la a sumergible. Después de su uso, r la corrosión.

pues los ácidos se disuelven bien



Figura 3.8. Tanques de stock de 2.300 galones con cobertizo para el inyector. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA.).

Cuando se usan pequeños tanques con sistema inyector, de menos de 100 galones USA (378 l), el peso de los diferentes compuestos de micronutrientes es muy pequeño. Por ejemplo, la cantidad de molibdato de amonio para una solución de concentración 200, para una tanque de 100 galones USA (378 l), sería de 4,17 gramos. Estos pequeños pesos son difíciles de medir en una balanza de triple astil, que pesa con exactitud hasta 1,0 gramos. Además, si se prepara una solución nutritiva en un tanque de almacenamiento en su formulación final de planta, sin el uso de soluciones stock, las cantidades requeridas para los compuestos micronutrientes son muy pequeñas y, por tanto, difíciles de pesar con exactitud.

En estos casos, es mejor usar una solución stock altamente concentrada para los micronutrientes y almacenarla en un contenedor opaco. Preparar una cantidad de 10 a 20 galones (38 a 76 litros). No preparar más de lo que se espera usar en aproximadamente un mes, pues puede que haya que hacer cambios en la formulación para adecuar las plantas durante los diferentes estados de desarrollo. Durante este período de tiempo pueden aparecer sedimentaciones, por lo que hay que agitar la solución con un pequeño motor con mango y pala agitadora, como se ha indicado antes. Con un tanque pequeño se puede utilizar un mezclador de pintura. Estos productos deben estar disponibles en los proveedores de ferretería, riego e invernaderos.

Para ilustrar la preparación de una solución stock de micronutrientes, usaremos la misma formulación de micronutrientes que en el ejemplo anterior. Es decir: Mn - 0,8 ppm; Cu - 0,07 ppm; Zn - 0,1 ppm; B - 0,3 ppm; Mo - 0,03 ppm.

NOTA: El hierro (Fe) no se incluye en esta solución de micronutrientes, pues se necesita tal peso de él que se puede medir con exactitud en una balanza.

La siguiente situación servirá de ejemplo para los cálculos necesarios para determinar los pesos de los compuestos de micronutrientes y sus comparaciones con las solubilidades para una solución concentrada de stock. Preparar una solución de nutrientes a una concentración normal para la planta en un tanque de nutrientes de 1.000 galones USA (no una solución stock) y usar una solución stock de micronutrientes con concentración 600 para suministrar los micronutrientes a este tanque. El procedimiento de tres pasos es como sigue:

Paso 1. Determinar las cantidades de cada compuesto necesarias para el tanque de nutrientes de 1.000 galones USA. Esta vez, sólo aparecerán los cálculos para los micronutrientes como los mostrados para los macronutrientes en el apartado 3.5.2.

A. Mn: 0,8 ppm (mg/l)

(i) Cantidad de MnSO_4

$$0,8 \text{ mg/l} \times 4,061 \text{ (factor de la tabla 3.2)} = 3,25 \text{ mg/l}$$

(ii) Ajuste por pureza (90 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 3,25 \text{ mg/l} = 3,6 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$1.000 \times 3,785 = 3.785 \text{ litros}$$

$$3.785 \times 3,6 \text{ mg/l} = 13.626 \text{ mg ó: } 13,6 \text{ g}$$

inyector, de menos de 100 galones de micronutrientes es muy pequeño. una solución de concentración 200, 4,17 gramos. Estos pequeños pesos pesa con exactitud hasta 1,0 gramos. que de almacenamiento en su fórmula cantidades requeridas para los comedidos de pesar con exactitud.

ck altamente concentrada para los laco. Preparar una cantidad de 10 a que se espera usar en aproximadamente en la formulación para adecuar lo. Durante este período de tiempo e agitar la solución con un pequeño ado antes. Con un tanque pequeño ductos deben estar disponibles en

ck de micronutrientes, usaremos la ejemplo anterior. Es decir: Mn - 0,8 - 0,03 ppm. solución de micronutrientes, pues se tud en una balanza.

s cálculos necesarios para determinar sus comparaciones con las solubilidad para una solución de nutrientes a ue de nutrientes de 1.000 galones ck de micronutrientes con concentrado tanque. El procedimiento de tres

uesto necesarias para el tanque de ecerán los cálculos para los micro- tes en el apartado 3.5.2.

3,25 mg/l

B. Cu: 0,07 ppm (mg/l)

- (i) Cantidad de CuSO_4
 $0,07 \text{ mg/l} \times 3,93 = 0,275 \text{ mg/l}$
- (ii) Ajuste por pureza (98 por 100)
 $\frac{100}{98} \times 0,275 \text{ mg/l} = 0,281 \text{ mg/l}$

- (iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:
 $3.785 \times 0,281 \text{ mg/l} = 1.064 \text{ mg ó: } 1,064 \text{ g}$

C. Zn: 0,1 ppm (mg/l)

- (i) Cantidad de ZnSO_4
 $0,1 \text{ mg/l} \times 4,40 = 0,44 \text{ mg/l}$
- (ii) Ajuste por pureza (90 por 100)
 $\frac{100}{90} \times 0,44 \text{ mg/l} = 0,4889 \text{ mg/l}$

- (iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:
 $3.785 \times 0,4889 \text{ mg/l} = 1.850 \text{ mg ó: } 1,85 \text{ g}$

D. B: 0,3 ppm (mg/l)

- (i) Fuente: H_3BO_3
 $0,3 \text{ mg/l} \times 5,717 = 1,715 \text{ mg/l}$
- (ii) Porcentaje de pureza (95 por 100)
 $\frac{100}{90} \times 1,715 \text{ mg/l} = 1,805 \text{ mg/l}$

- (iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:
 $3.785 \times 1,805 \text{ mg/l} = 6.832 \text{ mg ó: } 6,83 \text{ g}$

E. Mo: 0,03 ppm (mg/l)

- (i) Fuente: molibdato de amonio
 $0,03 \text{ mg/l} \times 1,733 = 0,052 \text{ mg/l}$
- (ii) Porcentaje de pureza (95 por 100)

$$\frac{100}{90} \times 0,052 \text{ mg/l} = 0,055 \text{ mg/l}$$

(iii) Para un tanque de 1.000 galones USA:

$$3,785 \times 0,055 \text{ mg/l} = 208,2 \text{ mg ó: } 0,208 \text{ g}$$

Se ve claramente en estos cálculos que las cantidades son demasiado pequeñas para que se puedan pesar con exactitud en una balanza de triple astil.

Paso 2. Calcular las cantidades de cada compuesto de micronutrientes para una solución stock de una concentración 600 (utilizar un tanque de 10 galones USA).

A. Mn: Para 0,8 ppm (mg/l), usar 3,6 mg/l de MnSO_4 [como se ha calculado antes en 1.A (ii)].

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:

$$10 \times 3,785 \text{ l} = 37,85 \text{ l}$$

$$37,85 \times 3,6 \text{ mg/l} = 136,26 \text{ mg}$$

(ii) Concentración 600:

$$600 \times 136,26 \text{ mg} = 81.756 \text{ mg ó: } 81,8 \text{ g}$$

(iii) Convertir 81,8 g en 37,85 l a g/100 ml y compararlo con el límite de solubilidad:

$$\frac{81,8 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 2,16 \text{ g/l ó: } 0,216 \text{ g/100 ml}$$

$$0,216 \text{ g/100 ml contra } 105,3 \text{ g/100 ml}$$

Esta concentración está dentro del límite de solubilidad.

B. Cu: Para 0,07 ppm (mg/l) usar 0,281 mg/l de CuSO_4

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:

$$37,85 \times 0,281 \text{ mg/l} = 10,64 \text{ mg}$$

(ii) Concentración 600:

$$600 \times 10,64 \text{ mg} = 6.384 \text{ mg ó: } 6,4 \text{ g}$$

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{6,4 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,169 \text{ g/l ó: } 0,0169 \text{ g/100 ml}$$

$$0,0169 \text{ g/100 ml contra } 31,6 \text{ g/100 ml}$$

Está dentro del límite de solubilidad.

C. Zn: Para 0,1 ppm (mg/l), usar 0,4889 mg/l de ZnSO_4

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 0,4889 \text{ mg/l} = 18.505 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 18,505 \text{ mg} = 11.103 \text{ mg}$ ó: 11,1 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{11,1 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,2932 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,0293 \text{ g/100 ml}$$

0,0293 g/100 ml contra 96,5 g/100 ml (del apéndice 4)

Esta concentración está muy por debajo del límite de solubilidad.

D. B: Para 0,3 ppm (mg/l), usar 1,805 mg/l de H_3BO_3

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 1,805 \text{ mg/l} = 68,32 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 68,32 \text{ mg} = 40.992 \text{ mg}$ ó: 41 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{41 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 1,083 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,108 \text{ g/100 ml}$$

0,108 g/100 ml contra 6,35 g/100 ml

Este nivel está dentro del límite de solubilidad.

E. Mo: Para 0,03 ppm (mg/l), usar 0,055 mg/l de molibdato de amonio

(i) Para un tanque de 10 galones USA de stock:
 $37,85 \times 0,055 \text{ mg/l} = 2,082 \text{ mg}$

(ii) Concentración 600:
 $600 \times 2,082 \text{ mg} = 1.249 \text{ mg}$ ó: 1,249 g

(iii) Convertir a g/100 ml:

$$\frac{1,249 \text{ g}}{37,85 \text{ l}} = 0,033 \text{ g/l} \text{ ó: } 0,0033 \text{ g/100 ml}$$

0,0033 g/100 ml contra 43 g/100 ml

Está muy por debajo del límite de solubilidad.

Paso 3. El paso final es calcular el volumen de una solución stock, con concentración 600 en un tanque de 10 galones USA, que hay que añadir a una solución de nutrientes de 1.000 galones USA para obtener una concentración 1. Hay que diluir hasta una relación de 1 parte de solución stock a 600 partes de agua; o sea 600:1. Por tanto, para 1 galón USA de solución de nutrientes se requerirían 1/600 galones USA de solución stock con concentración 600. Es más fácil establecer una relación con una incógnita (x) como sigue:

$$\frac{1}{1/600} = \frac{1.000}{x} = \frac{(\text{solución de nutrientes} \times 1)}{(\text{solución stock} \times 600)}$$

$$x = 1.000 \times 1/600$$

$$x = 1.000/600 = 1\frac{2}{3} \text{ galones USA}$$

Convertir a litros:

$$1\frac{2}{3} \text{ galones USA} \times 3,785 \text{ l} = 6,308 \text{ l ó: } 6,308 \text{ ml}$$

En resumen, 6,308 l de solución stock con concentración 600 serían añadidos a un tanque de nutrientes de 1.000 galones USA de una solución con concentración 1. Si la solución nutritiva tuviera que ser preparada una vez por semana, los 10 galones USA de la solución stock con concentración 600 durarían 6 semanas. Componer un cuadro resumen como sigue:

Solución stock de micronutrientes con concentración 600 en un tanque de 10 galones USA

<i>Compuesto</i>	<i>Peso (g)</i>	<i>Elemento (ppm)</i>
MnSO ₄	81,8	Mn - 0,8
CuSO ₄	6,4	Cu - 0,07
ZnSO ₄	11,1	Zn - 0,1
H ₃ BO ₃	41,0	B - 0,3
NH ₄ - Mo	1,25	Mo - 0,03

3.7. Preparación de la solución de nutrientes

La preparación de la solución de nutrientes variará, dependiendo del volumen del tanque de la solución de nutrientes y de si se usa una solución con concentración normal o una solución stock.

3.7.1. Preparación de soluciones con concentración normal

Para tanques de pequeño volumen (menos de 2.000 galones), se pueden pesar previamente los diferentes compuestos fertilizantes y colocarlos en sacos de plástico. Utili-

solución stock, con concentra-
 ue añadir a una solución de
 concentración 1. Hay que diluir
 tes de agua; o sea 600:1. Por
 erían 1/600 galones USA de
 blecer una relación con una

rientes $\times 1$)

k $\times 600$)

USA

ó: 6.308 ml

ción 600 serían añadidos a un
 ón con concentración 1. Si la
 mana, los 10 galones USA de
 s. Componer un cuadro resu-

n tanque de 10 galones USA

Elemento (ppm)
Mn - 0,8
Cu - 0,07
Zn - 0,1
B - 0,3
Mo - 0,03

pendiendo del volumen del
 ón con concentración nor-

ormal

alones), se pueden pesar pre-
 os en sacos de plástico. Utili-

zar un rotulador para escribir la fórmula del compuesto en cada saco, para evitar confu-
 siones en un futuro uso. Utilizar una balanza de triple astil para pesar los compuestos
 más pequeños en gramos. Los micronutrientes se pueden colocar juntos en un saco, con
 excepción del hierro, que debe estar en un saco separado. Los compuestos de micronu-
 trientes se deben pesar utilizando una balanza capaz de 20 a 30 libras. Como ya hemos
 mencionado antes, cualquier compuesto que sea requerido en cantidades menores que
 una libra debe ser pesado usando un balanza en gramos. Generalmente es mucho más
 rápido si se pesan por lo menos 5 lotes cuando se preparan las formulaciones. No hacer
 demasiadas formulaciones, pues puede ser necesario cambiar éstas debido al desarrollo
 de las plantas o a las condiciones climáticas.

Con tanques de gran volumen, pesar solamente los fertilizantes necesarios para ese
 lote. Pesar cada sal fertilizante por separado, disponiéndola en pilas sobre láminas de
 polietileno o en cubos, para que no haya pérdidas. Esto se debe hacer con exactitud,
 para estar dentro de un más o menos 5 por 100, utilizando una balanza en gramos o una
 balanza en libras, según los pesos requeridos de cada sal.

Continuar usando el siguiente procedimiento:

1. Llenar el tanque de almacenamiento de la solución de nutrientes con agua, aproximadamente un tercio del volumen.
2. Disolver cada sal fertilizante individualmente en un cubo de 5 galones de agua. Añadir agua al fertilizante y remover con fuerza. Utilizar una manguera y una boquilla para facilitar la mezcla. Normalmente, la cantidad total de fertilizante se disolverá en la primera adición de agua. Verter la porción disuelta de líquido en el tanque de almacenamiento y repetir la adición de agua, removiendo la porción disuelta hasta que toda la sal haya entrado en la solución. Usar agua caliente con sales que sean difíciles de disolver.
3. Disolver primero los macronutrientes y después los micronutrientes.
4. En sistemas pequeños, como los invernaderos de jardín, se pueden mezclar todos los sulfatos en forma seca antes de disolverlos; por ejemplo: K_2SO_4 y $MgSO_4$. Después, se pueden mezclar los nitratos y los fosfatos en forma seca antes de disolverlos; por ejemplo: KNO_3 y KH_2PO_4 . Añadir finalmente $Ca(NO_3)_2$.
5. Con sistemas mayores, añadir primero sulfato potásico. Para una mejor mezcla, hacer funcionar la bomba de alimentación del sistema de solución de nutrientes con la válvula by-pass abierta y la válvula al invernadero cerrada. Mantener funcionando la bomba que circula la solución de nutrientes al tanque de almacenamiento hasta que esté preparada toda la solución.
6. Llenar el tanque al menos hasta la mitad, pero no más de los dos tercios, y añadir después nitrato potásico.
7. Llenar el tanque hasta las tres cuartas partes, y añadir después sulfato magnésico y fosfato monopotásico.
8. Añadir lentamente nitrato cálcico, mientras se hace circular la solución.
9. Añadir los micronutrientes, a excepción del quelato de hierro
10. Comprobar el pH de la solución de nutrientes y ajustar, si fuera necesario, con ácido sulfúrico (H_2SO_4) o hidróxido potásico (KOH). Un alto pH (más de 7,0) provoca la precipitación de Fe^{++} , Mn^{++} , $PO_4^{=}$, Ca^{++} y Mg^{++} a sales insolubles y no disponibles.
11. Añadir el quelato de hierro (FeEDTA) y llenar el tanque hasta el volumen final.

12. Comprobar el pH y ajustar entre 5,8 y 6,4, dependiendo del nivel óptimo de pH para la cosecha.

13. Si se está utilizando un sistema hidropónico de recirculación cerrada, hacer circular la solución de nutrientes a través del sistema durante 5 a 10 minutos, y comprobar después el pH de nuevo y ajustarlo si fuera necesario.

3.7.2. Preparación de las soluciones stock

Cuando se preparen las soluciones stock, se requerirán pesos mayores de cada compuesto; por tanto preparar solamente un lote de solución. Pesar cada compuesto separadamente. Se usarán a menudo sacos enteros (50 lb ó 100 lb), de forma que hay que pesar solamente la cantidad adicional necesaria. Por ejemplo, si 414 libras de sulfato magnésico son un componente, usar ocho sacos de 50 lb ó cuatro de 100 lb, y después pesar las 14 libras adicionales en una balanza.

Si se utilizan cubos de 5 galones para disolver las sales fertilizantes, llenar los cubos sólo hasta un tercio de su capacidad, para que haya suficiente agua para disolver el compuesto. Utilizando 15 a 20 cubos, una persona puede fácilmente estar disolviendo el fertilizante, mientras otra vierte la solución en el tanque de almacenamiento. Otro método, distinto al uso de los cubos, es tener un depósito mezclador con una bomba de circulación para mezclar cada fertilizante separadamente; después, una vez disuelto, bombear la solución al tanque de almacenamiento de la solución stock, como se muestra en la figura 3.9. Tener cuidado de no utilizar más agua en el proceso de mezcla que la que el tanque stock pueda contener.

Cuando se preparen las soluciones stock, no añadir mucha agua al tanque stock antes de empezar el proceso de mezcla, pues se puede sobrepasar el volumen final en el proceso de disolución.

Añadir solamente la mitad del nitrato potásico a cada tanque stock.



Figura 3.9. Depósito mezclador con bombas para tanques de stock. (Cortesía de California Watercress, Inc., Fillmore, CA).

dependiendo del nivel óptimo de

de recirculación cerrada, hacer
durante 5 a 10 minutos, y compro-

rán pesos mayores de cada com-
i. Pesar cada compuesto separa-
(100 lb), de forma que hay que
ejemplo, si 414 libras de sulfato
lb ó cuatro de 100 lb, y después

as sales fertilizantes, llenar los
ya suficiente agua para disolver
a puede fácilmente estar disol-
n el tanque de almacenamiento.
un depósito mezclador con una
paradamente; después, una vez
ento de la solución stock, como
más agua en el proceso de mez-

dir mucha agua al tanque stock
sobrepasar el volumen final en el

da tanque stock.



para tanques de stock.
(Fillmore, CA).

Para el stock A, la secuencia de adición de los fertilizantes es la siguiente: mitad del nitrato potásico, nitrato cálcico, nitrato amónico y quelato de hierro después de ajustar el pH a aproximadamente 5,5. Llenar el tanque con agua hasta 10 galones del nivel final de solución antes de ajustar el pH y añadir el quelato de hierro.

Para el tanque B, la secuencia es: la otra mitad del nitrato potásico y sulfato potásico. Llenar el tanque hasta las tres cuartas partes y continuar añadiendo después el sulfato magnésico y el fosfato monopotásico. Ajustar el pH a aproximadamente 5,5, llenando el tanque con agua hasta 30 galones del nivel final, y añadir después los micronutrientes. Finalmente, comprobar de nuevo el pH y ajustarlo si fuera necesario.

El ácido, tanque C, se prepara el último utilizando uno de los ácidos anteriormente descritos. Llenar el tanque del ácido hasta las tres cuartas partes con agua, antes de añadir el ácido al agua. A continuación, después de remover con un tubo de plástico, llenar despacio el tanque con agua hasta el nivel final.

3.8. Relaciones de las plantas y causas de los cambios en la solución de nutrientes

En un sistema cíclico (cerrado), en el cual la solución de nutrientes pasa al tanque a través de un drenaje después de ser utilizada, la vida de ésta es de dos a tres semanas, dependiendo esto de la estación del año y del estado de desarrollo de la planta. Durante los meses de verano, en plantas maduras de alta cosecha, puede ser frecuentemente necesario el cambio semanal de la solución de nutrientes. La razón para este cambio es la diferente absorción por las plantas de los diversos elementos. Esto da lugar a que algunos elementos escaseen antes que otros, pudiendo conocerse en qué grados existen estas deficiencias en un momento determinado del cultivo solamente por un análisis de absorción atómica de la solución de nutrientes. Estos análisis pueden efectuarse solamente en laboratorios con instalaciones muy costosas y, por tanto, mucha gente es incapaz de poder obtener dichos análisis. Así pues, la única seguridad contra un desorden en la solución de nutrientes será el cambiar periódicamente dicha solución. En algunos casos es posible el añadir una parte de la formulación entre uno u otro cambio, pero esto es solamente una aproximación, y puede cometerse un grave error al producirse concentraciones excesivas en los nutrientes de algunas sales de las que las plantas toman solamente pequeñas cantidades.

La absorción relativa de los diversos elementos minerales por las plantas está efectuada por:

- a) condiciones ambientales (temperatura, humedad, intensidad lumínica);
- b) naturaleza de la cosecha;
- c) estado de desarrollo de la planta.

Como resultado de las diferencias de absorción de los diversos elementos, la composición de la solución de nutrientes cambiará continuamente, siendo consumidos algunos de los elementos más rápidamente que otros e incrementándose la concentración frecuentemente a causa de que las plantas efectúan una absorción de agua más grande que de sales. En adición a los cambios en la composición de las sales, el pH cambiará como resultado de las reacciones entre los agregados y la absorción no compensada de los aniones y cationes de las soluciones.

3.8.1. Análisis de nutrientes

Antes de reemplazar los elementos minerales es necesario determinar su concentración por métodos químicos de análisis, con el fin de conocer las cantidades absorbidas por las plantas. La diferencia de concentración de los elementos minerales desde el momento en que se hizo la primera mezcla de la solución de nutrientes hasta el momento de análisis, nos dirá cuánto debemos añadir de cada uno de los elementos para llevar la concentración a su nivel original.

Después de comprobar las soluciones a causa de la disminución de los elementos es necesario también analizar éstas para comprobar la acumulación de los iones que no se han utilizado, tales como el sodio, el sulfato o el cloruro, o para conocer la presencia de un exceso de elementos tóxicos, como el cobre o el zinc.

3.8.2. Análisis del tejido de las plantas

Utilizando tanto el análisis del tejido de las plantas como el de la solución de nutrientes podremos comparar y relacionar la absorción fisiológica de las plantas, para de esta forma poder efectuar un balance de los diversos elementos minerales en la solución de nutrientes. Es posible de esta forma el controlar los cambios en la solución de nutrientes, una vez que conozcamos la relación exacta entre las fluctuaciones que puedan producirse en los elementos minerales, en el tejido de la planta y los mismos en la solución de nutrientes. La solución de nutrientes deberá ser ajustada antes que aparezca algún síntoma en el tejido de la planta. Esto nos evitará el que exista algún desarreglo mineral en la planta, y de esta forma incrementaremos las cosechas, por medio de proporcionar a los vegetales un desarrollo bajo las condiciones óptimas de nutrición mineral.

Una ventaja del análisis de tejidos sobre el análisis de nutrientes es que el primero nos indica lo que ha sido o está siendo tomado por la planta de las soluciones de nutrientes, mientras que el segundo nos da solamente la disponibilidad de nutrientes para la planta. La absorción por las plantas de los elementos esenciales en un momento determinado, depende de las condiciones del medio, solución, los factores ambientales o las mismas plantas. Por ejemplo, si el medio no es inerte y reacciona con la solución de nutrientes, los iones pueden quedar retenidos por las partículas y no ser utilizables por las plantas. Los desequilibrios en la solución de nutrientes o las fluctuaciones en los niveles de pH reducen la absorción de las plantas, al igual que las enfermedades de la raíz o los ataques de nematodos en éstas. Los factores ambientales, tales como la falta de luz, temperaturas extremas o niveles bajos de dióxido de carbono evitan también a las plantas el aprovechamiento adecuado de los nutrientes de la solución. Por medio de los análisis de tejidos se pueden medir los efectos de los factores ya indicados en la absorción de nutrientes.

El uso de los análisis de tejidos en relación con el estado nutricional está basado en que, en las plantas sanas y vigorosas, los contenidos de nutrientes en los diversos tejidos suelen ser constantes. Al no ser igual los resultados para cada uno de los distintos tejidos o para las diversas especies, es preciso el seleccionar un tejido como indicador representativo de cada planta en los diversos estados de desarrollo, normalmente se seleccionan las hojas con buen aspecto, jóvenes y vigorosas, situadas cerca del punto de desarrollo del tallo principal. Es más fiable el tomar muestras en diversos estados de crecimiento que el tomar un gran número de éstas en un momento determinado, ya que la concentración de la mayoría de los nutrientes decrece con la edad y la madurez.

Para poder basarnos en el análisis de tejidos necesitamos un número elevado de datos tomados de cada especie, tejido y momento de desarrollo, todos ellos de plantas sanas y vigorosas, como ya se ha indicado. Esta información es disponible para lechuga de invernadero, tomates y pepinos (tabla 3.8). El tejido indicador para los tomates es la quinta hoja a partir del extremo del tallo principal, e incluye el tejido del peciolo y del limbo, debiendo tomarse al menos diez muestras de cada variedad con igual tratamiento fertilizante. En el caso de los pepinos se toman las hojas jóvenes sin peciolo, de unos 10 cm de diámetro, normalmente ésta suele ser la tercera hoja visible a partir del extremo del tallo principal, debiendo utilizarse también un número no inferior a 10 hojas. Las hojas deberán desecarse en estufa (70° C, unas 48 horas) o ser enviadas rápidamente, sin perder el frescor, al laboratorio, debiendo separar las hojas de los peciolos antes de secarlas, ya que normalmente los análisis de $\text{NO}_3^- \text{N}$, $\text{PO}_4^- \text{P}$, K, Ca y Mg se toman de los peciolos, y los elementos menores de las hojas.

Para analizar los resultados es preciso conocer la edad de la planta, el estado de desarrollo y la fertilización utilizada. Una serie de análisis semanales indicarán claramente la tendencia en cualquier nivel de nutriente.

La combinación de análisis de tejido y nutrientes permitirá al agricultor anticiparse a los problemas y efectuar los ajustes necesarios en la formación de la solución de nutrientes.

TABLA 3.8
Niveles de nutrientes en tejido de plantas aparentemente sanas

Elementos	Tomates	Pepinos	Lechugas
N %	4,5 4,5-5,5	5,25 5,0-6,0	4,3 3,0-6,0
P %	0,7 0,6-1,0	0,75 0,7-1,0	1,0 0,8-1,3
K %	4,5 4,0-5,5	4,75 4,5-5,5	5,4 5,0-10,8
Ca %	1,5 1,5-2,5	3,0 2,0-4,0	1,5 1,1-2,1
M %	0,5 0,4-0,6	0,75 0,5-1,0	0,42 3,0-0,9
Fe (ppm)	100 80-150	125 100-150	120 130-600
B (ppm)	50 35-60	40 35-60	32 25-40
Mn (ppm)	70 70-150	70 60-150	70 20-150
Zn (ppm)	30 30-45	50 40-80	45 60-120
Cu (ppm)	5 4-6	8 5-10	14 7-17
Mo (ppm)	2 1-3	2 1-3	2-3 1-4
N/K ratio	1,0 0,9	1,1 1,0-1,5	

3.8.3. Cambio de solución

El trabajo de Steiner (1980) sobre las soluciones de nutrientes indica que, si las proporciones de la absorción de nutrientes para un cultivo bajo condiciones dadas son

conocidas, los iones pueden ser aplicados continuamente a la solución en estas proporciones, controladas sólo por un conductímetro.

Aunque, generalmente, esto es cierto, el uso extendido de la misma solución nutritiva puede resultar que produzca una acumulación de cantidades tóxicas de elementos menores, tales como zinc y cobre, provenientes de metales del sistema de fontanería, impurezas de los fertilizantes o de las mismas aguas.

La vida útil de una solución de nutrientes depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas de forma inmediata. Tales acumulaciones dan como resultado una elevación de la concentración osmótica de la solución de nutrientes. Un medidor eléctrico de conductividad de los normalmente utilizados en el comercio debería usarse para determinar el momento en el cual la solución de nutrientes empieza a estar demasiado concentrada. Las determinaciones se efectuarán sobre las soluciones de nutrientes en el momento de su aporte, y después se irán repitiendo cada vez que se les añadieran nuevas sales. Al incrementarse el nivel de sales totales se incrementará también rápidamente la conductividad eléctrica. La unidad de medida utilizada para expresar la conductancia es un mho. Para simplificar, la conductividad se expresa, a menudo, como milimhos/cm, con el alcance deseado de 2,00 a 4,00. Los niveles de sales por encima de 4 milimhos/cm pueden dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos. Un mMho/cm = 1 miliSiemen/cm (mS/cm).

La concentración total de elementos en una solución nutritiva debería ser de 1.000 y 1.500 ppm, de forma que la presión osmótica facilite el proceso de absorción por las raíces. Esto correspondería a las lecturas del contenido total de sales, entre 1,5 y 3,5 mMho. En general, los valores más bajos (1,5-2,0 mMho) son preferidos para cultivos como los pepinos, mientras que los valores más altos son más adecuados para las cosechas de tomates (2,5-3,5 mMho). Un mMho/cm es, aproximadamente, igual a 650 ppm de sales.

En general, nunca debería utilizarse la solución de nutrientes por un espacio mayor de tres meses sin que se efectuase un recambio completo de ella, a la vez que se efectuase un lavado de agua limpia de la totalidad del sistema, incluyendo las bancadas. La media de vida económica de una solución de nutrientes que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En el caso de que no se efectuasen dichos análisis, la vida de la solución nunca podría ser mayor de dos o tres semanas.

3.8.4. El ajuste de soluciones de nutrientes por el uso de la conductividad eléctrica

Los instrumentos para el cálculo de sólidos solubles (TDS), que determinan los sólidos disueltos en agua, están basados en instrumentos de medida de la conductividad de ésta.

La cantidad de sólidos disueltos en partes por millón (ppm) o mg/l por peso es directamente proporcional a la conductividad en mMho por unidad de volumen. Sin embargo, la conductividad eléctrica (EC) crece no sólo por las concentraciones de sales presentes, sino también por la composición química de la solución de nutrientes. Algunas sales fertilizantes conducen la electricidad mejor que otras. Por ejemplo, el sulfato de amonio conduce dos veces más la electricidad que el nitrato de calcio y más de tres veces que el sulfato de magnesio, mientras que la urea no es conductora en absoluto.

Los iones de nitrato no producen una correlación tan aproximada con la conductividad eléctrica como lo hacen los iones de potasio (Alt. D. 1980).

Mientras más alta es la relación del nitrógeno al potasio, más bajos serán los valores de conductividad eléctrica en la solución de nutrientes.

Las medidas de conductividad eléctrica del total de solutos no se diferencian entre los diversos elementos; por esta razón, mientras existe una teórica proporcionalidad entre TDS y EC, las soluciones estándar para una formulación de nutrientes deberán ser calculadas para determinar su correlación en la solución indicada.

Por ejemplo, en la tabla 3.9, una 660 ppm TDS es equivalente a 1,0 mMho, lo cual es la medida de una solución que contenga 490 ppm de cloruro sódico o una solución de 420 ppm de carbonato cálcico. Es decir, una solución de 490 ppm de cloruro sódico u otra de 420 ppm de carbonato cálcico tienen ambas una lectura de 1,0 mMho de conductividad eléctrica.

La tabla 3.9 relaciona la concentración del cloruro sódico y el carbonato cálcico con la conductividad.

TABLA 3.9
Proporciones entre Sólidos Totales Disueltos (TDS) y Conductividad Eléctrica (EC) para soluciones de cloruro sódico y carbonato cálcico (Solución A)

TDS (ppm)	EC (mMho)	NaCl (ppm)	CaCO ₃ (ppm)
10.000	15	8.400	7.250
6.660	10	5.500	4.700
5.000	7,5	4.000	3.450
4.000	6	3.200	2.700
3.000	4,5	2.350	2.000
2.000	3	1.150	1.300
1.000	1,5	750	640
750	1,125	560	475
666	1	490	420
500	0,75	365	315
400	0,6	285	250
250	0,375	175	150
100	0,15	71	60
66	0,10	47	40
50	0,075	35	30
40	0,06	28	24
25	0,0375	17,5	15
6,6	0,01	4,7	4

En la tabla 3.10 se da una lista de conductividad para soluciones al 0,2 por 100 (2 gramos de fertilizante en un litro de agua destilada) de varios fertilizantes.

Las conductividades de varias concentraciones de nitrato de calcio están señaladas en la tabla 3.11.

Estas conductividades estándar deberían utilizarse para obtener una proporcionalidad teórica entre la conductividad y el TDS.

Las medidas actuales de conductividad para fertilizantes pueden variar entre las indicadas en las tablas 3.10 y 3.11, debido a la solubilidad y pureza de las diversas fuentes de fertilizantes.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 3.10
Conductividad (EC) de una solución al 0,2 por 100 en agua destilada

<i>Compuesto fertilizante</i>	<i>EC (mMho)</i>
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	2,0
KNO_3	2,5
NH_4NO_3	2,9
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3,4
K_2SO_4	2,4
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,2
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,55
NaH_2PO_4	0,9
KH_2PO_4	1,3
HNO_3	4,8
H_3PO_4	1,8

TABLA 3.11
Conductividad (EC) de diversas concentraciones de nitrato cálcico en agua destilada

<i>Concentración (%)</i>	<i>EC (mMho)</i>
0,05	0,5
0,1	1,0
0,2	2,0
0,3	3,0
0,5	4,8
1,0	9,0

Si las lecturas de conductividad eléctrica no se toman a la temperatura estándar de 25° C, debe utilizarse un factor de corrección (tabla 3.12).

Algunos instrumentos tales como el conductímetro (Vomatic) tienen un compensador de temperaturas que, automáticamente, hace los ajustes necesarios.

En el Apéndice 2 vienen indicados algunos laboratorios de plantas capaces de utilizar soluciones de nutrientes, además, muchas universidades están preparadas para hacer dichos análisis.

La utilización de las soluciones de nutrientes por medio del uso de la conductividad eléctrica se aplica particularmente a los sistemas cerrados de NFT y subirrigación. Sin embargo, pueden utilizarse también para controlar los sistemas abiertos que tengan grandes depósitos de almacenamiento, de solución mejor que para aquellos que utilizan reguladores.

3.8.5. Conservación del volumen de la solución

El volumen de la solución deberá conservarse relativamente constante para de esta forma poder asegurar un adecuado crecimiento de las plantas. Las plantas toman mucha más agua y a mucha más velocidad que elementos minerales. Conforme se efectúa esta toma de agua de la solución de nutrientes, disminuye dicho volumen, como es natural. Esto da lugar a un incremento de la concentración total de la solución, así como de la concentración de los diversos iones.

TABLA 3.12
Factores de temperatura para corrección de la conductividad.
Datos para una temperatura estándar de 25° C*

°C	°F	Temperatura Factor
5	41,0	1,613
10	50,0	1,411
15	59,0	1,247
16	60,8	1,211
17	62,6	1,189
18	64,4	1,163
19	66,2	1,136
20	68,0	1,112
21	69,8	1,087
22	71,6	1,064
23	73,4	1,043
24	75,2	1,020
25	77,0	1,000
26	78,8	0,979
27	80,6	0,960
28	82,4	0,943
29	84,2	0,925
30	86,0	0,907
31	87,8	0,890
32	89,6	0,873
33	91,4	0,858
34	93,2	0,843
35	95,0	0,829
40	104,0	0,763
45	113,0	0,705

* De «Saline and Alkali Soils», U. S. Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook, núm. 60, pág. 90.

Ca:	35 ppm, fuente: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ Necesidades: $35 \times 4,094 = 143,3 \text{ mg/l}$ Para 30.000 litros: $30.000 \times \frac{143,3}{1.000} = 4.299 \text{ g ó } 4,3 \text{ kg}$ Cantidad de N: $143,3 \times 0,171 = 24,5 \text{ mg/l (ppm)}$
Mg:	30 ppm, fuente: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ Necesidades: $30 \times 10,14 = 304 \text{ mg/l ó } 9,1 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de S: $304 \times 0,130 = 39,5 \text{ ppm}$
P:	30 ppm, fuente: KH_2PO_4 Necesidades: $30 \times 4,394 = 131,8 \text{ mg/l ó } 3,95 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de K: $131,8 \times 0,287 = 37,8 \text{ ppm}$
K:	38 ppm, fuente: KH_2PO_4 ; 7 ppm, fuente: KNO_3 Necesidades: $7 \times 2,586 = 18,1 \text{ mg/l ó } 0,54 \text{ kg/30.000 l}$ Cantidad de N: $18,1 \times 0,1385 = 2,5 \text{ ppm}$
S:	39,5 ppm, fuente: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
*N:	24,5 ppm, fuente: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2,5 ppm, fuente: KNO_3 Total: 27 ppm

* Puesto que la cantidad de N que pueda obtenerse está limitada por la cantidad de KNO_3 utilizada como fuente de K, el N adicional podría añadirse del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , o alternativamente, el nivel de N podría ser menor a 27 ppm, por los niveles presentes de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y KNO_3 necesarios para suministrar el Ca y K, respectivamente.

La pérdida media de agua diaria puede variar de un 5 a un 30 por 100, según la unidad de cultivo y el número y tipo de plantas. El agua necesaria para compensar esta pérdida se debe añadir diariamente mientras que se utilice la solución. Usando los sistemas NFT, los investigadores pueden determinar exactamente la cantidad de agua tomada por las plantas. En Inglaterra, Spensley y sus colaboradores (1978) determinaron que un día claro de verano un cultivo de tomate consume 1,33 litros (1/3 gal) de agua por planta. Winsor y sus colaboradores (1980) determinaron que las plantas de tomate perdían por evapotranspiración 15 ml/planta/hora durante la noche, alcanzando un día claro de verano hasta un máximo de 134 ml/planta/hora a mediodía. Adams (1980) calculó que los pepinos consumían aproximadamente el doble de agua que los tomates, debido a su mayor área foliar. El agua absorbida alcanzó un máximo de 230 ml/planta/hora durante las horas de máxima intensidad luminosa y temperatura. Mediante una experiencia se estimó que el agua utilizada en un invernadero fue 1 litro/pie cuadrado/día para cultivos entutorados, tales como los tomates y los pepinos. Los agricultores con experiencia pueden añadir el agua semanalmente o incluso utilizar un flotador automático que, unido a una válvula de la tubería de retorno del tanque de la solución de nutrientes, hará que éste se encuentre en el nivel deseado en cualquier momento del día. Cuando el agua se añade semanalmente, puede recomendarse un exceso en el aporte de la misma en relación al volumen original. Esto nos permitirá reducir la concentración de la solución, a medida que las plantas tomen el agua, por debajo del nivel de la solución original. Normalmente, el mejor procedimiento es permitir al volumen de la solución que fluctúe por igual en ambos sentidos del nivel original. En este caso, se deberá utilizar un test de control de la solución unido al método de regulación del volumen de la solución.

Referencias

- ADAMS, P.: Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solutions. *Acta Hort.* 98:119-126, 1980.
 —: Crop nutrition in hydroponics. *Acta Hort.* (323) 289-305, 1993.
 ALT, D.: Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth—an important factor in soilless culture. *Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture*, Wageningen, May 1980, pp. 97-109, 1980.
 BAUERLE, W. L., y FLYNN, P.: Precision nutrient control—A window into the future. *Proc. of the 11th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Vancouver, B.C. pp. 25-32, 1990.
 BERRY, W. L.: Nutrient control and maintenance in solution culture. *Proc. of the 10th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Tucson, AZ. pp. 1-6, 1989.
 BUTLER, J. N.: *Solubility and pH calculations*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1964.
 McASKILL, J., GERMANN, D. y ERICKSON, R. *Plant nutrient facts for hydroponics: How to make your own fully formulated plant nutrient*. Foothill, 1998.
 MUCKLE, M. E.: *Hydroponic nutrients—easy ways to make your own*. rev. ed. Princeton, B.C.: Growers Press, 1990.
 RESH, H. M.: *Hydroponic home food gardens*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press, 1990.
 RYALL, D.: Commercially growing tomatoes in rockwool in British Columbia. *Proc. of the 14th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Portland, OR. pp. 33-39, 1993.
 SCHAUM, D.; BECKMANN, C. O., y ROSENBERG, J. L.: *Schaum's outline of theory and problems of college chemistry*, 4th ed. New York, NY: Schaum, 1962.
 SCHIPPERS, P. A.: Practical aspects to fertilization and irrigation systems. *Proc. of the 12th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, St. Charles, IL, 1991.
 SCHON, M.: Tailoring nutrient solutions to meet the demands of your plants. *Proc. of the 13th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Orlando, FL. pp. 1-7, 1992.
 SCHWARZ, M.: *Guide to commercial hydroponics*. Jerusalem: Israel Univ. Press, 1968.
 SIENKO, M. J., y PLANE, R. A.: *Chemistry*, 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1961.

un 30 por 100, según la uni-
aria para compensar esta pér-
olución. Usando los sistemas
cantidad de agua tomada por
78) determinaron que un día
(1/3 gal) de agua por planta.
plantas de tomate perdían por
alcanzando un día claro de
a. Adams (1980) calculó que
que los tomates, debido a su
e 230 ml/planta/hora durante
Mediante una experiencia se
ie cuadrado/día para cultivos
agricultores con experiencia
un flotador automático que,
a solución de nutrientes, hará
mento del día. Cuando el agua
en el aporte de la misma en
concentración de la solución,
nivel de la solución original.
en de la solución que fluctúe
se, se deberá utilizar un test de
olumen de la solución.

Acta Hort. 98:119-126, 1980.

ant growth—an important factor in
ulture, Wageningen, May 1980, pp.

o the future. *Proc. of the 11th Ann.*
C. pp. 25-32, 1990.

Proc. of the 10th Ann. Conf. of the

Wesley, 1964.

Hydroponics: How to make your own

rev. ed. Princeton, B.C.: Growers

bridge Press, 1990.

mbia. *Proc. of the 14th Ann. Conf.*
39, 1993.

of theory and problems of college

Proc. of the 12th Ann. Conf. of the

ts. *Proc. of the 13th Ann. Conf. of*
992.

. Press, 1968.

raw-Hill, 1961.

SPENSLEY, K., WINSOR, G. W., y COOPER, A. J.: Nutrient film technique crop culture in flowing nutrient solution. *Outlook on Agriculture*. 9:199-305, 1987.

STEINER, A. A.: The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. *Proc. of the 5th Int. Congress on Soilless Culture, Wageningen*, May 1980, pp. 83-95, 1980.

ULISES DURANY, C.: *Hidroponia—Cultivo de plantas sin tierra*, 4th ed. Barcelona, Spain: Editorial Sintet, S.A. p. 106, 1982.

WALLACE, A.: Regulation of micronutrients and use of chelating agents in solution cultures. *Proc. of the 10th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, Tucson, AZ. pp. 14-26, 1989.

WALLACE, G. A., y WALLACE, A.: Maintenance of iron and other micronutrients in hydroponic nutrients solutions (Tomatoes, cucumbers). *Journal of Plant Nutrition* 7(1/5): 575-585, 1984.

WILCOX, G.: Nutrient control in hydroponic systems. *Proc. of the 12th Ann. Conf. of the Hydroponic Society of America*, St. Charles, IL. pp. 50-53, 1991.

WINSOR, G. W.; ADAMS, P., y MASSEY, D.: *New light on nutrition. Suppl. Grower*. 93(8):99-103, 1980.

WITHROW, R. B., y WITHROW, A. P.: *Nutriculture*. Lafayette, IN: Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Publ. S. C. 328, 1948.