

CAPITULO 3

Soluciones nutritivas

► 3.1 CONCEPTOS GINERALES.

Las plantas necesitan, para el desarrollo de su ciclo vital, de una serie de elementos químicos que se denominan elementos nutritivos. Todos estos elementos son igualmente importantes pero unos los necesita la planta en grandes cantidades, y se les llama macroelementos, y otros los necesita en pequeñas cantidades y se les denomina entonces microelementos u oligoelementos.

Todos los elementos nutritivos esenciales para la planta son tomados o asimilados en forma de iones. Estos iones pueden ser positivos (cationes) o negativos (aniones). En el Cuadro 3.1 aparece un listado de elementos químicos en la que figura su símbolo, la masa atómica del elemento, la forma iónica en que es absorbido por la planta y la masa de dicho ion. En el cuadro figuran todos los elementos nutritivos considerados esenciales para la planta. Además se han incluido aquellos iones que, aunque no son vitales para las plantas, se encuentran en las aguas de riego y por lo tanto han de tenerse en cuenta en la elaboración de las soluciones nutritivas.

Son varias las formas en que pueden expresarse o medirse las concentraciones de los iones en las aguas de riego o en las soluciones nutritivas. Antes de dejar reflejadas estas expresiones conviene hacer un recordatorio de algunos conceptos básicos de química relacionados con este tema.

a) *Mol*. Según el Sistema Internacional (SI), el mol es la unidad básica de cantidad de sustancia y se define como: «La cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12". El número de átomos que hay en 12 gramos de

C12 es $6,02 \times 10^{23}$ y a este número se le denomina número de Avogadro.

Cuando se emplea el mol deben especificarse las entidades elementales de que se trata ya que pueden ser átomos, moléculas, iones u otras partículas o grupos especificados de tales partículas.

Como en la práctica existe una coincidencia numérica puede también decirse que el mol es la masa atómica, o la masa molecular, o la masa iónica de una sustancia, expresada en gramos.

b) *Milimol*. Es la milésima parte del mol, o lo que es lo mismo, la masa de una partícula elemental expresada en miligramos. El símbolo del milimol es «mmol».

c) *Miliequivalente*. El miliequivalente es el resultado de dividir la masa atómica de un átomo o la masa molar de un radical iónico expresado en miligramos, entre la valencia del átomo o del radical. La valencia considerada de la partícula elemental en cuestión es la definida por los fenómenos de electrólisis. El símbolo del miliequivalente es «meq».

d) *Partes por millón*. Una forma muy común de expresar concentraciones de partículas elementales es la de las partes por millón (ppm). En soluciones nutritivas, aunque no se especifique, las partes por millón suelen significar los miligramos de una sustancia considerada por cada litro de agua, es decir, es una relación de peso a volumen.

<i>Elemento químico</i>	<i>Símbolo químico</i>	<i>Peso atómico</i>	<i>Forma iónica</i>	<i>Peso del ión</i>
Nitrógeno	N	14	NH ₄ ⁺ NO ₃ ⁻	18 62
Fósforo	P	31	H ₂ PO ₄ ⁻	97
Potasio	K	39	K ⁺	39
Calcio	Ca	40	Ca ⁺⁺	40
Magnesio	Mg	24	Mg ⁺⁺	24
Azufre	S	32	SO ₄ ⁼	96
Hierro	Fe	56	Fe ⁺⁺	56
Manganeso	Mg	55	Mn ⁺⁺	55
Zinc	Zn	65,5	Zn ⁺⁺	65,5
Boro	B	11 [^]	B ₄ O ₇ ⁼	
	Cu	64	Cu ⁺⁺	
	Mo	96	MoO ₄ ⁼	
	C	12	HCO ₃ ⁻ CO ₃ ⁼	
	Cl	35,5	Cl ⁻	
	Na	23	Na ⁺	
	O	16		
	H	1		

3.2 CALCULO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS.

Hay varias formas para la realización de los cálculos de las soluciones nutritivas. En este capítulo se va a seguir un método práctico y, aunque los cálculos no sean en su totalidad químicamente exactos, si son lo suficientemente fiables como para aplicarlos en campo con garantía.

En general, las concentraciones de los macroelementos se expresan en milimoles por litro, mientras que las de los microelementos se expresan en p.p.m.

La secuencia metodológica que se seguirá en la siguiente:

- 1) Solución nutritiva tipo.
- 2) Análisis del agua de riego.
- 3) Ajuste del pH.
- 4) Ajuste de los macroelementos en mmol/l.
- 5) Ajuste de los microelementos en ppm.

6) Cálculo de la conductividad final de la solución nutritiva.

3.2.1 Solución nutritivo tipo.

Conviene dejar claro desde un principio que no existe en la actualidad información suficiente para determinar soluciones nutritivas estandarizadas por especies, variedades, estados de desarrollo, condiciones climáticas o métodos de cultivo. Incluso es muy probable que nunca exista esa información tan precisa y minuciosa porque en definitiva la variabilidad de los factores de producción es tan grande que las soluciones nutritivas optimizadas podrían ser infinitas.

Este comentario no debe de llevar el desánimo al lector puesto que se tiene la gran suerte de que las plantas son seres vivos con un alto grado de adaptación al medio en que se desarrollan. Los límites de concentración en que un determinado elemento nutritivo puede encontrarse disponible para la planta en una solución nutritiva, son lo suficientemente amplios como para que sean otros factores de la producción, normalmente menos controlables, los que condicionan y limitan la capacidad productiva de un cultivo.

Por ejemplo, un cultivo que se desarrolla en temperaturas medioambientales comprendidas entre 15 y 25 grados centígrados responderá positivamente a una solución nutritiva tipo. Si las temperaturas se salen de este rango, ninguna solución nutritiva tipo podrá suplir la deficiencia o exceso de temperatura y la capacidad productiva del cultivo descenderá respecto a la situación anterior. Este ejemplo es trasladable a cualquier otro factor de la producción.

Los aspectos económicos ligados a la productividad de un cultivo son muy importantes y se han de tener en cuenta para definir una solución nutritiva tipo. De manera general puede asegurarse que a mayor conductividad eléctrica de la solución nutritiva se obtendrá una menor producción pero de mejor calidad comercial. Es sabido que frutos de hortalizas obtenidas por métodos tradicionales y aguas de riego salinas tienen una gran consistencia y son muy adecuados para soportar transportes de muchos kilómetros.

Existen soluciones nutritivas tipo que aparecen en la bibliografía tradicional y han sido aportadas por autores con gran prestigio en el campo de la hidroponía. Se muestran en el Cuadro 3.2 las soluciones nutritivas para tomate según dos autores diferentes.

Se aprecian entre ambas soluciones diferencias en las cantidades de nutrientes y en la forma de añadir algunos elementos.

3.2.2 Análisis del agua de riego.

Todas las aguas de riego tienen sales en disolución y cuando se van a utilizar en cultivo sin suelo es im-

Cuadro 3.2:

mmol/l	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	HPO_4^{2-}	SO_4^{2-}	NH_4^+	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+
Coic-Lesaint (1983)	12,0	-	1,65	0,75	2,0	3,1	0,75	5,2
Sonneveld (1984)	10,5	1,5	-	2,5	0,5	3,75	1,0	7,0

prescindible conocer la composición cuantitativa y cualitativa de dichas sales. La información proporcionada por un análisis químico del agua de riego servirá para:

a) Cuantificar aquellos iones que entran a formar parte de la solución nutritiva y que por lo tanto, al llevarlas el agua de riego, permiten disminuir las cantidades que se han de aportar. En ciertos casos algunos iones se encuentran en el agua de riego en cantidades superiores a las necesarias. Ca^{++} , Mg^{++} y SO_4^{2-} suelen ser iones comúnmente encontrados en muchas aguas de riego.

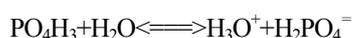
b) Tomar decisiones respecto a iones que, no siendo necesarios para la solución nutritiva, se encuentran normalmente en las aguas de riego. Estas sales, que suelen ser Cl^- y Na^+ y algún microelemento, producen en general dos tipos de problemas. Por un lado pueden encontrarse en concentraciones que resulten fitotóxicas para la planta y por lo tanto, serán aguas descartables para su uso en hidroponía. El otro problema que acarrea estas sales es que con su presencia contribuyen al aumento de la conductividad de la solución nutritiva. Este aumento puede ser beneficioso económicamente si no se sobrepasan ciertos límites porque permitirá elegir una solución nutritiva tipo de más baja conductividad y por lo tanto más barata. En general, aguas con conductividades superiores a 2,5 mS/cm empiezan a crear algún tipo de problemas.

c) Conocer con exactitud el contenido de carbonatos y bicarbonatos y de esta forma poder realizar los cálculos para la corrección del pH con precisión y fiabilidad tal y como se muestra a continuación.

3.2.3 Ajuste del pH.

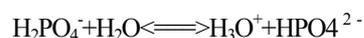
El valor del pH de un medio informa del carácter básico o ácido del mismo. La solubilidad de los iones está afectada por el pH de la solución. Incluso la concentración de determinadas formas iónicas se ve afectada por los valores de pH, como lo demuestra el siguiente ejemplo:

- Reacción de equilibrio a $pH < 5$:

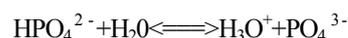


Tanques para las soluciones madres con agitadores.

- Reacción de equilibrio a pH entre 5 y 10:



- Reacción de equilibrio a $pH > 10$:



Investigaciones y experiencias continuadas han venido a corroborar que las soluciones nutritivas han de ajustarse a pH comprendido entre los valores de 5,5 y 6,5.

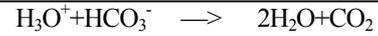
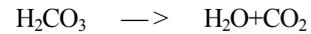
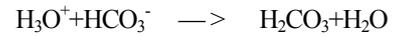
Cuando se analiza un agua que se va a utilizar para hidroponía puede darse el caso, muy poco común, de que el pH de la misma tenga un valor inferior a 5,8. En este caso se deben de añadir sales alcalinizantes, como por ejemplo el fosfato biamónico o bicarbonato potásico, para realizar el ajuste de pH deseado.

El caso más generalizado es que las aguas para riego tengan el pH superior a 5,8 y normalmente la presencia de los iones bicarbonato, y algo menos los iones carbonato, son los responsables de ello. La forma de bajar el pH de estas aguas de riego consiste en eliminar estos iones y ello se consigue con la adición de

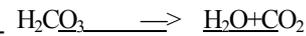
Densidad	Riqueza de ácido en %			
	HNO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	HCl
1,10	-	-	15	20
1,20	33	34	27	40
1,23	37	-	-	-
1,30	48	46	39	-
1,37	59	-	-	-
1,40	65	58	50	-
1,50	95	69	60	-
1,58	-	75	-	-
1,60	-	77	69	-
1,70	-	86	77	-

algún ácido. La reacción de neutralización es la siguiente:

- Bicarbonato:



- Carbonato:



Los ácidos más utilizados en soluciones nutritivas para cultivos sin suelo son el ácido nítrico y el ácido fosfórico. Tienen la ventaja estos ácidos de que además de servir para hacer el ajuste del pH, aportan elementos nutritivos necesarios para la planta. Pueden también ser utilizados el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico. En el Cuadro 3.3 se muestran algunas características de estos ácidos. Los datos de densidad y concentración son muy útiles para la realización de los cálculos numéricos que luego se verán.

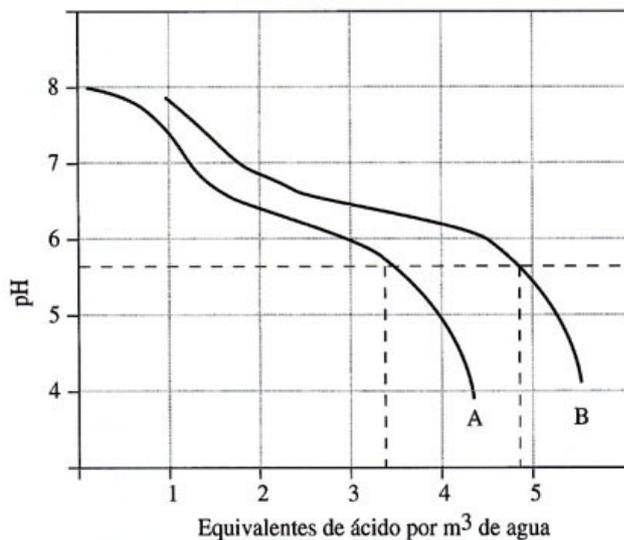
La cantidad exacta de ácido que se ha de incorporar al agua de riego para situar el valor del pH entre 5,5 y 6 puede ser averiguada por dos métodos distintos. Uno de ellos consiste en realizar la curva de neutralización, añadiendo cantidades conocidas y crecientes de ácido y midiendo con un pHmetro los distintos valores del pH. En la Figura 3.1 se muestran dos curvas de neutralización de dos aguas diferentes y que evidentemente contienen cantidades distintas de bicarbonatos. Se aprecia que para conseguir pH=5,8 es necesario añadir el agua «A» 3,4 equivalentes de ácido por m³ de agua mientras que para el agua «B» se precisan 4,8 equivalentes/m³ para conseguir el mismo valor de pH.

El método descrito anteriormente es muy preciso pero resulta poco práctico. Cuando se observan muchas curvas de neutralización es fácil darse cuenta de que todas las curvas responden a una tipología muy bien definida. El punto de inflexión se corresponde con la neutralización total de los bicarbonatos que existen en el agua y se encuentra aproximadamente en la línea de pH=5,5. Este tipo de comportamiento permite utilizar otro método más sencillo, práctico y rápido para el ajuste del pH de las soluciones nutritivas y que se describe a continuación.

En función de las reacciones de neutralización vistas anteriormente, se sabe que los bicarbonatos son

Figura 3.1:

Curvas de neutralización para dos aguas.



Cuadro 3.4:

<i>Fertilizante</i>	<i>Fórmula</i>	<i>% Riqueza</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Solubilidad gr/l a 20°</i>
Nitrato cálcico	Ca (NO ₃) ₂ · H ₂ O	15,5N; 19Ca	181	1.220
Nitrato potásico	KNO ₃	13N; 38K	101	316
Nitrato magnésico	Mg (NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	11N; 9 Mg	256	279
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	34N	80	192
Fosfato monopotásico	KH ₂ PO ₄	23P; 28K	136	230
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	27P; 12N	115	294(*)
Sulfato potásico	K ₂ SO ₄	45K; 18S	174	111
Sulfato magnésico	MgSO ₄ · 7H ₂ O	10Mg; 13S	246	700

(*) Solubilidad a 25°C.

neutralizados por los ácidos equivalente a equivalente, mientras que un equivalente de carbonato es neutralizado por dos equivalentes de ácido. Quiere decirse que conocidas las cantidades de carbonatos y bicarbonatos que hay en el agua es fácil de calcular las cantidades de ácido a añadir el agua para que su pH se quede entre 5,5 y 6.

En la práctica se recomienda dejar 0,5 mmol de bicarbonato sin neutralizar para evitar quedarse en el punto de inflexión de la curva y que cualquier pequeño error en la dosis de ácido pudiera situar el valor del pH de la solución nutritiva en valores de extrema acidez. De esta forma, es decir, dejando 0,5 mmol de bicarbonato sin neutralizar, el pH de la solución nutritiva suele quedarse alrededor del valor de 5,8.

3.2.4 Ajuste de los macronutrientes.

Una vez tomada la decisión de la solución nutritiva a utilizar, conocidos los datos analíticos del agua de riego y ajustado el pH de la misma, el siguiente paso a dar para la correcta realización de los cálculos de la solución nutritiva a incorporar al cultivo es el determinar las cantidades de abonos comerciales necesarias para que las concentraciones de los elementos nutritivos en la solución final sean las previstas.

El cuadro 3.4 tiene un listado de los fertilizantes comúnmente utilizados en hidroponía y con las características que interesan para la realización de los cálculos. Téngase en cuenta que la solubilidad de algunas sales desciende muy bruscamente a bajas temperaturas y que los riesgos de precipitación pueden ser importantes si se pretenden concentrar en exceso las soluciones nutritivas madres.

Asimismo, el Cuadro 3.5 proporciona el dato de la cantidad de fertilizante, expresada en kilogramos o li-

Cuadro 3.5:

Kgs o litros/m³ de fertilizante a incorporar en una solución madre 100 veces concentrada para que resulte una concentración final de 1 mmol por litro

<i>Fertilizante</i>	<i>Kgs</i>	<i>Litros</i>
Ácido nítrico (37%)	17	13,80
Ácido nítrico (59%)	10,7	7,80
Ácido fosfórico (37%)	26,5	21,20
Ácido fosfórico (75%)	13,0	8,2
Nitrato Potásico	10,1	
Nitrato amónico	8	
Fosfato monopotásico	13,6	
Fosfato monoamónico	11,5	
Nitrato cálcico	18,1	
Nitrato Magnésico	25,6	
Sulfato potásico	17,4	
Sulfato magnésico	24,6	

Cuadro 3.6:

	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Steiner	2,0	0,7	0,02	0,09	0,5	0,04
Adas	3,0	1,0	0,1	0,1	0,2	0,05
Cok	0,8	0,65	0,2	0,1	0,3	0,05

Cuadro 3.7:

Fertilizante	Fórmula	% de riqueza	Peso molecular
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ H ₂ O	32 ME	169
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	23 Zn	287,5
Sulfato de cobre	CuSO ₄ · 5H ₂ O	25 Cu	249,7
Edta-Fe	-	13 Fe	-
Eddha-Fe	-	6 Fe	-
Dtpa-Fe	-	6-9 Fe	-
Edta-Mn	-	13 Mn	-
Edta-Cu	-	13 Cu	-
Edta-Zn	-	13 Zn	-
Tetra borato de sodio	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	11B	381,2
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	17B	61,8
Molibdato de sodio	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	40 Mo	241,9
Hepta molibdato amónico	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	58Mo	1.163,3

tros, que se debe de añadir a 1.000 litros de agua para que resulte una solución madre 100 veces concentrada, de forma que cuando se diluya 100 veces resulte una concentración final de 1 mmol por litro de agua del elemento considerado.

Al final de este capítulo aparecen algunos ejemplos del método operativo para la realización de los cálculos y de cómo se utilizan estos cuadros. No obstante se muestra ahora un ejemplo de cómo se pasa del Cuadro 3.4 al 3.5:

- 1 mmol de Nitrato potásico pesa 101 mg y cede 1 mmol de ion nitrato y 1 mmol de ion potasio.

- Si se pretende concentrar 100 veces la solución madre, entonces $101 \text{ mg/l} \times 100 = 10.100 \text{ mg/l}$.

- En 1.000 l de solución madre concentrada habrá que añadir $1.000 \text{ l} \times 10.100 \text{ mg/l} = 10.100.000 \text{ mg} = 10,1 \text{ Kg}$ de Nitrato potásico.

En el caso de utilizar un ácido de distinta concentración a la de los que aparecen en el Cuadro 3.5 y sabiendo su densidad o su concentración, el modo operativo sería el siguiente:

- 1 mmol de ácido nítrico del 100% pesa 63 mg.

- Si es un ácido del 48% entonces $63 \text{ mg} \times (100/48) = 131,2 \text{ mg} = 0,1312 \text{ g}$ de ácido nítrico del 48% para aportar 1 mmol de HNO₃ puro.

- La densidad del HNO₃ del 48% es $1,3 \text{ g/cm}^3$ luego $0,1312 \text{ g} / (1,3 \text{ g/cm}^3) = 0,1 \text{ cm}^3$ de HNO₃ del 48% hay que añadir por litro de solución nutritiva para que la concentración final sea de 1 mmol/l.

3.2.5 Ajuste de microelementos.

Si como se ha visto en el apartado 3.2.1 de este capítulo ya resultaba complejo el determinar una solución nutritiva estándar para los macroelementos, es fácil suponer que para los microelementos resulta más difícil el determinar las concentraciones precisas de cada uno de los elementos y para cada situación de cultivo.

Pero igual que se dijo anteriormente se tiene la suerte de la capacidad de adaptación de la planta y de que los límites en que un microelemento puede encontrarse disponible para la planta en una solución nutritiva son lo suficientemente amplios como para permitir un buen control de los mismos.

Las concentraciones de los microelementos en las soluciones nutritivas se expresan normalmente en mg/l o, lo que es lo mismo, en ppm. Algunas recomendaciones recogidas de la bibliografía son las reflejadas en el Cuadro 3.6.

En el Cuadro 3.7 aparece un listado de los fertilizantes que pueden utilizarse para el aporte de microelementos. A efectos prácticos suelen utilizarse productos comerciales denominados «complejos de micronutrientes» que traen los seis elementos en proporciones parecidas a las que se ha hecho referencia. Normalmente el hierro, manganeso, cobre y cinc vienen quelatados y el molibdeno y el boro en forma de sales inorgánicas. Por ejemplo, uno de los productos comerciales más utilizados es el Nutrel C cuya composición en porcentajes es la siguiente;

- 7,50% de Fe-EDTA.
- 3,30% de Mn-EDTA.
- 0,60% de Zn-EDTA.
- 0,27% de Cu-EDTA.

- 0,65% de B en forma de tetraborato sódico.
- 0,20% de Mo en forma de molibdato sódico.

Este complejo de micronutrientes se utiliza en cantidades de 2 a 3 Kg por cada 1.000 litros de solución madre concentrada 100 veces.

3.2.6 Cálculo de la conductividad final de la solución nutritivo.

Para calcular la conductividad de la solución nutritiva que se ha de preparar existen varios métodos. El método más exacto, y aparentemente más sencillo, sería el de preparar una determinada cantidad de solución nutritiva y medir directamente su conductividad. Para conseguir la exactitud adecuada se debería preparar un volumen, lo suficientemente grande como para contrarrestar los errores en la pesada de las pequeñas cantidades de fertilizantes que se usan por litro de agua. En la práctica no se utiliza este método por la carencia que suele haber en el campo del instrumental adecuado. Los otros métodos son matemáticos y se describen a continuación:

a) Método de la aportación salina de los iones: Consiste en expresar todas las concentraciones de los iones en ppm y multiplicarlas por unos factores de corrección que según la bibliografía oscilan entre los valores mostrados en el Cuadro 3.8.

Una vez obtenido el valor corregido para cada ion, se suman todos los valores y el resultado de esta suma será el valor de la conductividad de la solución nutritiva expresado en microSiemens/cm. Este método proporciona resultados variables según los factores elegidos.

b) Método de los miliequivalentes: En toda solución salina se cumple que la suma del número de miliequivalentes de aniones es igual a la suma del número miliequivalentes de cationes. Este método consiste en dividir el número total de miliequivalentes de aniones o el número total de miliequivalentes de cationes entre un factor que varía entre 10 y 12. El resultado viene expresado en mS/cm.

Se debe elegir el factor 10 para conductividades bajas y el 12 para conductividades altas.

c) El que se podría denominar método gravimétrico: El método es parecido al primero. Se expresa la



Cultivo de judías en tablas de lana de roca.

concentración total de sales de la solución nutritiva en gramos por litro y se divide por un factor global y variable entre 0,7 y 0,9. Igual que anteriormente, el resultado viene expresado en mS/cm y se elige el valor 0,7 para conductividades bajas y 0,9 para las altas.

En los ejemplos que se van a realizar a continuación se tendrá la oportunidad de comparar los resultados de la aplicación de cada uno de los métodos descritos.

3.3. EJEMPLOS DE CÁLCULOS.

En los ejemplos que se han elegido para desarrollar los cálculos se utiliza el Cuadro 3.9 para una mayor facilidad y comprensión. Este tipo de estadillo está adaptado a la metodología que anteriormente se ha recomendado. Desde luego que existen otros modelos y a ellos se deberá recurrir cuando se utilicen otras expresiones para la concentración de los elementos nutritivos.

Cuadro 3.8:

Factores de corrección.

HCO_3^-	Ca^{++}	Cl^-	Mg	NO_3^-	K^+	Na^+	$SO_4^{=}$
0,715	2,6	2,14	3,82	1,15	1,84	2,13	1,54
-	1,9	1,9	3,08	1,00	1,74	2,00	0,73

En cada uno de los ejemplos se destacarán aquellos aspectos más singulares, de tal forma que, al final de este apartado, se pueda tener una idea amplia de las posibilidades de solución que pueden tener distintas situaciones.

Queremos insistir en la idea de que los cálculos realizados no son exactos, ni tienen un rigor científico desde un punto de vista químico. Sin embargo, si son lo suficientemente correctos para su aplicación en el campo de la Agricultura.

3.3.1 Primer ejemplo.

Supóngase que el agua de riego está desmineralizada, es decir que no contiene ningún tipo de sales. Este podría considerarse como el caso más sencillo pero desde luego el más improbable.

La solución nutritiva ideal coincide con los aportes previstos, con los aportes reales y con la solución nutritiva final. La transformación de los milimoles a miliequivalentes se hace con una doble finalidad. Por un lado para realizar el cálculo de la conductividad y por otro lado para comprobar que la suma de aniones es igual a la suma de cationes. En esta igualdad se puede admitir un error máximo del 10%. Si no es así es que probablemente se ha cometido algún error en los cálculos. La transformación a ppm tiene por objeto el realizar el cálculo de la conductividad por el método gravimétrico.

La conductividad de la solución nutritiva se puede obtener dividiendo los meq/l entre el factor 10, según el método descrito en 3.2.6.B.

Los datos de los mmol/l de cada uno de los fertilizantes se trasladan a la lista inferior del cuadro y aplicando el factor del Cuadro 3.10 se obtiene la cantidad de fertilizante a incorporar en 1.000 litros de solución madre 100 veces concentrada.

Para los microelementos se ha elegido una dosis de 2,5 Kg de Nutrel-C para los 1.000 l de solución madre. Operando, se puede comprobar que esta dosis aportaría la siguiente concentración, en ppm, de cada uno de los microelementos: Fe, 1,875; Mn, 0,825; Cu, 0,06; Zn, 0,15; B, 0,16; Mo, 0,05.

Puede comprobarse que estos valores se ajustan bastante a las recomendaciones de la bibliografía especializada.

Si se prefieren utilizar fertilizantes simples para el aporte de los microelementos entonces el modo de operar es el siguiente:

a) Se dispone de un Fe-EDTA del 13% de riqueza; la concentración deseada de Fe es de 2 ppm; $2 \times (100/13) = 15,38$ mg/l de Fe-EDTA; concentrada 100 veces = 1.538 mg/l = 1,538 g/l; en 1.000 l de solución madre = 1,538 Kg.



Cultivo de pepinos en sacos de pertita.

b) Se dispone de un Sulfato de cinc que, según el Cuadro 3.7, tiene un 23% de Zn; la concentración deseada de Zn es de 0,1 ppm; $0,1 \times (100/23) = 0,43$ mg/l de Sulfato de cinc; concentrada 100 veces = 43 mg/l; en 1.000 l de solución madre = 43 gramos.

Y de esta forma pueden ser calculados cada uno de los microelementos a las concentraciones deseadas.

3.3.2 Ejemplo segundo.

Este ejemplo es parecido al anterior. Se utiliza un agua de las consideradas como de buena calidad, puesto que su conductividad es muy baja, y aporta elementos nutritivos aunque ninguno en cantidades superiores a lo necesario. (Cuadro 3.11).

La novedad más importante a considerar es la necesidad del aporte de un ácido para neutralizar los bicarbonatos, en este caso 1,5 mmol/l. Nótese que en la columna de los bicarbonatos aparecen cantidades con signo menos que proceden del aporte del ácido. Aunque químicamente no es correcto, puesto que debería aparecer el hidrógeno como catión, a efectos prácticos

Cuadro 3.10:

	Aniones mMol /l					Cationes mMol/I					pH	CE mS/cm
	NO ₃ ⁻	N ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K +	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na +		
<i>Agua de riego</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Solución ideal</i>	12	1,5	2	-	-	0,5	7,5	3,5	1,25	-	-	-
<i>Aportes previstos</i>	12	1,5	2	-	-	0,5	7,5	3,5	1,25	-	-	-

Fertilizantes

	mMol/l											
H ₃ PO ₄												
HNO ₃												
Ca(NO ₃) ₂	3,5	7							3,5			
KNO ₃	4,5	4,5						4,5				
NH ₄ NO ₃	0,5	0,5					0,5					
K ₂ SO ₄	0,75			0,75				1,5				
MgSO ₄	1,25			1,25						1,25		
NH ₄ H ₂ PO ₄												
KH ₂ PO ₄	1,5		1,5					1,5				
Mg(NO ₃) ₂												
Aportes reales	12	1,5	2	-	-	0,5	7,5	3,5	1,25	-		
Solución nutritiva final mMol/l	12	1,5	2	-	-	0,5	7,5	3,5	1,25	-	-	1,75
	Meq/l.	12	1,5	4	-	-	0,5	7,5	7	2,5	-	
Aniones Σ	17,5											
Cationes Σ	17,5											
ppm Σ	1.552	744	145,5	192	-	-	9	292	140	30	-	

Fertilizantes para 1.000 l de solución madre 100 veces concentrada

Acido nítrico (37%)		x		13,8=		Litros
Acido nítrico (59%)		x		7,8=		litros
Acido fosfórico (37%)		x		21,2=		litros
Acido fosfórico (75%)		x		8,2=		litros
Nitrato potásico			4,5	x	10,1 =	45,4 Kilos
Nitrato calcico			3,5	x	18,1 =	68,35 Kilos
Nitrato amónico			0,5	x	8,0=	4,0 kilos
Sulfato potásico			0,75	x	17,4=	13,05 kilos
Sulfato magnésico			1,25	x	24,6=	30,75 kilos
Fosfato monoamónico				x	11,5 =	Kilos
Fosfato monopotásico			1,5	x	13,6=	20,4 kilos
Nitrato Magnésico				x	25,6=	kilos
Complejo de Microclementos						2,5 kilos

Cuadro 3.11:

	Aniones mMol /l					Cationes mMol /l					pH	CH mS/cm
	NO ₃ ⁻	N ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
<i>Agua de riego</i>	—	—	1	2	—	—	—	0,5	1	—	7,7	0,4
<i>Solución ideal</i>	12	1,5	2	0,5	—	0,5	7,5	3,5	1,25	—	—	—
<i>Aportes previstos</i>	12	1,5	1	-1,5	—	0,5	7,5	3,5	0,25	—	—	—

Fertilizantes

	mMol/l															
H ₃ PO ₄	1,5		1,5		-1,5											
HNO ₃																
Ca(NO ₃) ₂	3	6							3							
KNO ₃	5,5	5,5						5,5								
NH ₄ NO ₃	0,5	0,5					0,5									
K ₂ SO ₄	1			1				2								
MgSO ₄	0,25			0,25						0,25						
NH ₄ H ₂ PO ₄																
KH ₂ PO ₄																
Mg(NO ₃) ₂																
Aportes reales		12	1,5	1,25	-1,5	—	0,5	7,5	3	0,25						
Solución nutritiva final mMol/l		12	1,5	2,25	0,5	—	0,5	7,5	3,5	1,25	1	5,8	1,94			
	Meq/l.	12	1,5	4,5	0,5	—	0,5	7,5	7	2,5	1					
Aniones Σ		18,5														
Cationes Σ		18,5														
ppm Σ		1.628	744	144	216	30	—	9	292	140	30	23				

Fertilizantes para 1.000 l de solución madre 100 veces concentrada

Acido nítrico (37%)		X		13,8=		litros
Acido nítrico (59%)		X		7,8=		litros
Acido fosfórico (37%)		X		21,2=		litros
Acido fosfórico (75%)		1,5	X	8,2=	12,3	litros
Nitrato potásico		5,5	X	10,1=	55,55	kilos
Nitrato calcico		3	X	18,1=	54,3	kilos
Nitrato amónico		0,5	X	8,0=	4	kilos
Sulfato potásico		1	X	17,4=	17,4	kilos
Sulfato magnésico		0,25	X	24,6=	6,15	kilos
Fosfato monoamónico			X	11,5=		kilos
Fosfato monopotásico			X	13,6=		kilos
Nitrato magnésico			X	25,6=		kilos
Complejo de microelementos					2,5	kilos

Cuadro 3.12:

	Aniones mMol /l					NH ₄ ⁺	Cationes mMol /l				pH	CE mS/cm
	NO ₃ ⁻	N ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻		K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Agua de riego		—	16,7	4,3	8,7	—	—	11,2	4,1	14,8	7,3	3,5
Solución ideal	12	1,5	2	0,5	—	0,5	7,5	3,5	1,25			
Aporten previstos	12	1,5		-3,8		0,5	7,5					

Fertilizantes

	mMol/l												
H ₃ PO ₄	1,5		1,5		-1,5								
HNO ₃	2,3	2,3			-2,3								
Ca(NO ₃) ₂													
KNO ₃	7,5	7,5						7,5					
NH ₄ NO ₃	0,5	0,5					0,5						
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄													
Mg(NO ₃) ₂													
Aportes reales		10,3	1,5	—	-3,8	—	0,5	7,5	—	—	—		
Solución nutritiva final mMol/l		10,3	1,5	16,7	0,5	8,7	0,5	7,5	11,2	4,1	14,8	5,8	4,5
	Meq/l.	10,3	1,5	33,4	0,5	8,7	0,5	7,5	22,4	8,2	14,8		
Aniones Σ		54,4											
Cationes Σ		53,4											
ppm Σ		3.912	638	145	1.603	30	309	9	292	448	98	340	

Fertilizantes para 1.000 l de solución madre 100 veces concentrada

Acido nítrico (37%)		X		13,8=		litros
Acido nítrico (59%)	2,3	X		7,8=	17,94	litros
Acido fosfórico (37%)		X		21,2=		litros
Acido fosfórico (75%)	1,5	X		8,2=	12,3	litros
Nitrato potásico	7,5	X		10,1 =	75,75	kilos
Nitrato calcico		X		18,1 =		kilos
Nitrato amónico	0,5	X		8,0=	4	kilos
Sulfato potásico		X		17,4=		kilos
Sulfato magnésico		X		24,6=		kilos
Fosfato monoamónico		X		11,5=		kilos
Fosfato monopotásico		X		13,6=		kilos
Nitrato magnésico		X		25,6=		kilos
Complejo de microelementos					2,5	kilos

resulta aconsejable el hacerlo así para ver con claridad como se van neutralizando los bicarbonatos.

En la fila de «aportes reales» se añade 1,25 mmol/l de sulfatos cuando lo previsto es 1 mmol/l. Ocurre con frecuencia que el ajuste exacto resulta imposible por la limitación que supone el propio listado de fertilizantes. Se puede optar por añadir nitrato de magnesio en vez del sulfato y en este caso los sulfatos quedan perfectamente ajustados pero aparecen 0,5 mmol/l de más del anión nitrato. En los casos en que ocurre esto la decisión final a tomar estará en función de las características del momento y no puede decirse, aquí y ahora, que solución es la mejor.

La «solución nutritiva final» es el resultado de sumar la fila de «aporte reales» y la fila de «agua de riego» teniendo en cuenta el signo aritmético para el caso de los bicarbonatos. Recuérdese que, al dejar 0,5 mmol/l de bicarbonatos sin neutralizar, el pH de la solución nutritiva se ajustará a 5.8 y que este es el valor que aparece en la casilla correspondiente.

Para el cálculo de la conductividad de la solución nutritiva se han utilizado dos métodos y el resultado de ambos se ha promediado. El modo operativo es el siguiente:

a) Aniones = 18.5; Factor = 10; Conductividad = $18,5/10 = 1,85$ mS/cm.

b) La concentración de aniones y cationes = 1.628 ppm = 1,628 g/l; Factor = 0,8; Conductividad = $1,628/0,8 = 2,035$ mS/cm.

c) Promedio = $(1,85 + 2,035)/2 = 1,94$ mS/cm.

3.3.3 Ejemplo tercero.

Para este caso se ha elegido un agua de riego de las que tanto abundan por el sureste español y que en principio deberían desecharse para el cultivo sin suelo. No obstante la experiencia ha demostrado que pueden usarse para el cultivo de aquellas hortalizas más resistentes a la salinidad y utilizando altos porcentajes de agua drenada. Estas aguas crean problemas que, en el mejor de los casos, merman los rendimientos y dificultan el manejo de la nutrición de los cultivos.

Se aprecia, por los datos del análisis del agua, que los sulfatos, cloruros, sodio, calcio y magnesio se encuentran en cantidades muy altas. También hay muchos bicarbonatos y ello obliga a la utilización de altas cantidades de ácido nítrico. (Cuadro 3.12).

En la fila de «aportes reales» aparecen 10,3 mmol/l de nitratos, 1,7 menos de los previstos. Si se quisiera remediar, es decir aportar los 12 mmol/l de la solución ideal, entonces podrían hacerse algunos reajustes.

Para el ajuste completo se puede aportar nitrato só-

dico. Este fertilizante no aparece en el listado y ello no quiere decir que no pueda utilizarse. Ocurre que en general el aporte de sodio no suele ser recomendable, puesto que sodio suele haber en exceso de las aguas salinas como es este el caso.

Si se utiliza nitrato amónico entonces habría 1,7 mmol/l de más de ion amonio en la solución nutritiva final totalizándose 2,3 mmol/l. El ion amonio, a estas concentraciones y en sustratos inertes, puede resultar tóxico para algunos cultivos por lo que esta solución tampoco sería la más adecuada.

Otra solución podría ser la aportación de nitrato de magnesio. Aunque en el agua de riego hay magnesio más que suficiente, como la relación con el calcio no está muy descompensada, la solución nutritiva podría admitir los 0,85 mmol/l de Mg que se aportarían en este caso.

Piénsese de todas formas que cualquiera de las soluciones obligaría a aumentar la conductividad de la solución nutritiva y podría ser que interesara tener un poco menos de nitratos que no aumentar la conductividad.

Al realizar la comprobación de la igualdad de aniones y cationes, en la solución nutritiva final, se aprecia una diferencia de 1 meq/l, diferencia que es perfectamente admisible según lo comentado en apartados anteriores.

La conductividad de la solución nutritiva final se ha calculado en este caso dividiendo los miliequivalentes por el factor elegido de 12 resultando: $53,9/12 = 4,5$ mS/cm.

3.3.4 Ejemplo cuarto.

Este es otro ejemplo de agua salina pero, a diferencia del anterior, la sal predominante es el cloruro sódico, le falta calcio y el magnesio está algo descompensado respecto a él. (Cuadro 3.13a).

No se había comentado hasta ahora, porque el presente ejemplo es el adecuado. En general se aconseja que el orden de ajuste se realice de la forma siguiente:

a) Neutralizar bicarbonatos con el ácido fosfórico que sea necesario para ajustar los fosfatos.

b) Si todavía quedan bicarbonatos por neutralizar, utilizar todo el ácido nítrico necesario hasta que queden 0,5 mmol/l de bicarbonatos.

c) Ajustar el calcio incorporando nitrato cálcico ya que es el único fertilizante disponible.

d) A partir de este punto, las posibilidades de ajuste puede ser muy variables.

Cuadro 3.13a:

	Aniones mMol /l					Cationes mMol /l					pH	CE mS/cm
	NO ₃ ⁻	N ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Agua de riego	-	—	3	4	20	—	—	2,2	3,7	18	7,7	3,13
Solución ideal	12	1,5	2	0,5	—	0,5	7,5	3,5	1,25	—		
Aportes previstos	12	1,5	—	^3,5	—	0,5	7,5	1,3		—		

	mMol/l												
H ₃ PO ₄	1,5		1,5		-1,5								
HNO ₃	2	2			-2								
Ca(NO ₃) ₂	1,3	2,6							1,3				
KNO ₃	7,5	7,5						7,5					
NH ₄ NO ₃	0,5	0,5				0,5							
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄													
Mg(NO ₃) ₂													
Aportes reales		12,6	1,5	—	-3,5	—	0,5	7,5	1,3	—	—		
Solución nutritiva final mMol/l		12,6	1,5	3	0,5	20	0,5	7,5	3,5	3,7	18	5,8	3,37
	Meq/l.	12,6	1,5	6	0,5	20	0,5	7,5	7	7,4	18		
Aniones Σ	40,6												
Cationes Σ	40,4												
ppm Σ	2.898	781	145	288	30	710	9	292	140	89	414		

Fertilizantes para 1.000 l de solución madre 100 veces concentrada

Acido nítrico (37%)		x		13,8=		litros
Acido nítrico (59%)	2	x		7,8=	15,6	litros
Acido fosfórico (37%)		x		21,2=		litros
Acido fosfórico (75%)	1,5	x		8,2=	12,3	litros
Nitrato potásico	7,5	x		10,1=	75,75	kilos
Nitrato calcico	1,3	x		18,1=	23,5	kilos
Nitrato amónico	0,5	x		8,0=	4	kilos
Sulfato potásico		x				kilos
Sulfato magnésico		x		24,6=		kilos
Fosfato monoamónico		x		11,5=		kilos
Fosfato monopotásico		x		13,6=		kilos
Nitrato magnésico		x		25,6=		kilos
Complejo de microelementos					2,5	kilos

Cuadro 3.13b:

	Aniones mMol /l					Cationes mMol /l					pH	CE mS/cm
	NO ₃ ⁻	N ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Agua de riego	—		3	4	20	—	—	2,2	3,7	18	7,7	3,13
Solución ideal	12	1,5	2	0,5	—	0,5	7,5	4,5	1,25	—		
Aportes previstos	12	1,5	—	-3,5	—	0,5	7,5	2,3		—		

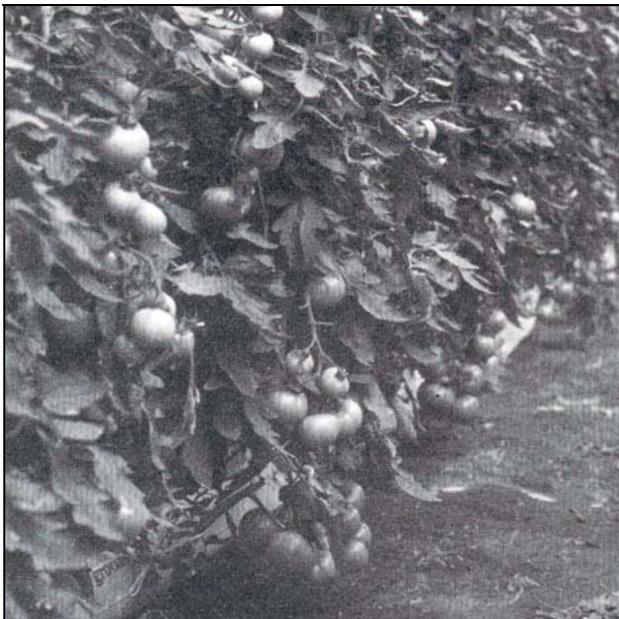
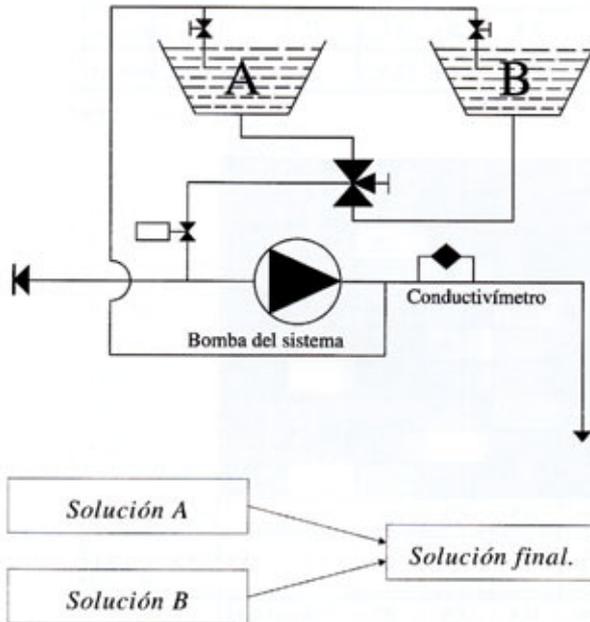
Fertilizantes

	mMol/l												
H ₃ PO ₄	1,5		1,5		-1,5								
HNO ₃	2	2			-2								
Ca(NO ₃) ₂	2,3	4,6							2,3				
KNO ₃	4,9	4,9						4,9					
NH ₄ NO ₃	0,5	0,5					0,5						
K ₂ SO ₄	1,3			1,3				2,6					
MgSO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄													
Mg(NO ₃) ₂													
Aportes reales		12	1,5	1,3	-3,5	—	0,5	7,5	2,3	—	—		
Solución nutritiva final mMol/l		12	1,5	4,3	0,5	20	0,5	7,5	4,5	3,7	18	5,8	3,54
	Meq/l.	12	1,5	8,6	0,5	20	0,5	7,5	9	7,4	18		
Aniones Σ	42,6												
Cationes Σ	42,4												
ppm Σ	3,026	744	145	413	30	710	9	292	180	89	414		

Fertilizantes para 1.000 l de solución madre 100 veces concentrada

Acido nítrico (37%)			X		13,8=					litros
Acido nítrico (59%)		2	X		7,8=		15,6			litros
Acido fosfórico (37%)			X		21,2=					litros
Acido fosfórico (75%)			1,5	X	8,2=		12,3			litros
Nitrato potásico			4,9	X	10,1=		49,49			kilos
Nitrato calcico			2,3	X	18,1=		41,63			kilos
Nitrato amónico			0,5	X	8,0=		4			kilos
Sulfato potásico			1,3	X	17,4=		22,62			kilos
Sulfato magnésico				X	24,6=					kilos
Fosfato monoamónico				X	11,5=					kilos
Fosfato monopotásico				X	13,6=					kilos
Nitrato magnésico				X	25,6=					kilos
							2,5			kilos

Figura 3.2:
Esquema de inyección con dos tanques de solución madre.



Plantas adultas de tomate en tablas de lana de roca.

En este ejemplo se ha procedido de la forma descrita. Se aprecia que hay un exceso de nitratos aunque este exceso podría ser perfectamente admisible. Lo que sí existe es una clara descompensación entre calcio y magnesio. El exceso de magnesio debe de ser asumido porque lo aporta el agua y la relación Ca/Mg puede mejorarse sólo a expensas de añadir algo más de calcio. Aportando 1 mmol/l de Nitrato cálcico quedarían 14,6 de nitratos. Esta cantidad sí puede considerarse como excesiva por lo que sustituimos 2,6 mmol/l de Nitrato potásico por 1,3 mmol/l de Sulfato potásico.

La solución nutritiva final resultante de estos cambios aparece en el Cuadro 3.13b: «Cuarto ejemplo bis».

3.4 SOLUCIONES MADRES

Según el tipo de instalaciones y equipamientos disponibles para el riego existen dos formas de preparar las soluciones nutritivas: diluidas o concentradas.

El primer caso es para cuando se dispone de grandes balsas de almacenamiento para el agua de riego y entonces es posible añadirles directamente los fertilizantes de tal forma que la solución nutritiva final será la que se encuentre en estas balsas.

El caso más común es aquél en que se disponen de equipos de inyección y las soluciones nutritivas hay que concentrarlas en una determinada proporción. Lo normal es concentrar las soluciones nutritivas 100 ó 200 veces.

Con independencia de las características técnicas de las bombas inyectoras y del equipo de riego en general, los límites para la concentración de las soluciones nutritivas están marcados por la solubilidad de los fertilizantes (véase el Cuadro 3.4) y por el producto de solubilidad de cada una de las sales. No debe de olvidarse la influencia que la temperatura tiene en estos aspectos.

A las soluciones nutritivas concentradas se les suele denominar soluciones madres. Se pueden utilizar distinto número de tanques para contener estas soluciones. Se presentan dos de los casos más comunes: Figura 3.2 para dos tanques (A y B) y Figura 3.3 para tres tanques.

Cualquiera que sea la combinación elegida se debe cumplir una serie de normas en la preparación de las soluciones madres y que son las siguientes:

A) No mezclar en el mismo tanque el nitrato de calcio con sulfatos ni fosfatos, tanto de macroelementos como de microelementos.

B) El tanque que contenga el hierro quelatado debe acidularse a pH entre 5 y 6,5 con el objeto de evitar degradaciones.

C) Cuando se utilice un complejo de microelementos éste se puede incorporar en el tanque que contenga el nitrato de cal, pero los microelementos se añadirán antes que el nitrato de cal y antes que el nitrato potásico que vaya en ese tanque.

D) Es deseable que los fertilizantes se repartan lo más proporcionalmente posible entre los distintos tanques, de forma que todos tengan un peso parecido. Es to es fácil de conseguir si se tiene en cuenta que el nitrato potásico y el nitrato amónico pueden mezclarse con cualquier otro abono.

E) La forma correcta de operar, una vez tomadas las decisiones de los contenidos de cada uno de los tanques, es: rellenarlos hasta su mitad con agua, aportar los ácidos, aportar los abonos y terminar de llenar los tanques con agua.

3.5 FACTORES QUE AFECTAN A LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.

Al principio de este capítulo quedó reflejado que las distintas especies hortícolas precisan, en general, de soluciones nutritivas diferentes. Se sabe también que dentro de una misma especie existen variedades comerciales con necesidades nutritivas muy específicas para determinados iones.

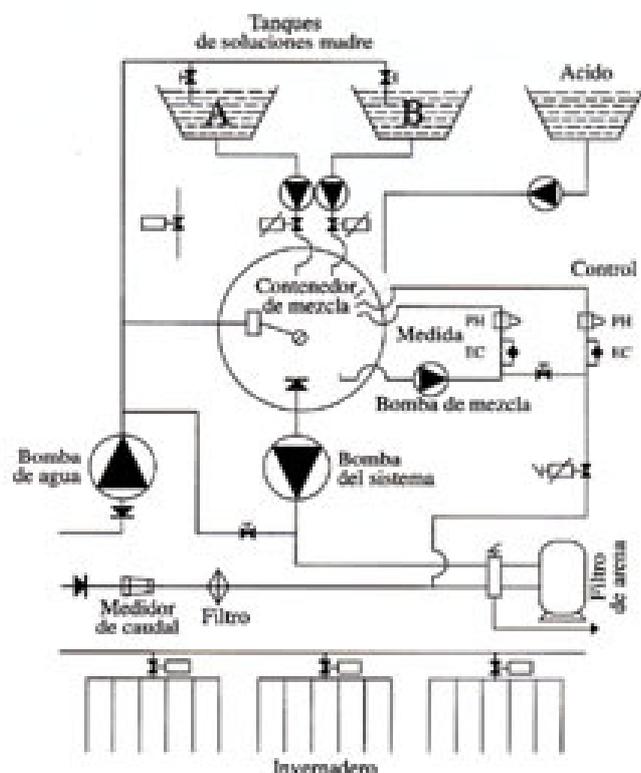
La información disponible al respecto es muy escasa y sólo la experiencia individual o colectiva en una determinada zona productora podrá ir generando este tipo de conocimientos. No se olvide la interrelación entre los distintos factores de la producción y muy probablemente puede ocurrir que una solución nutritiva optimizada para una variedad y zona geográfica determinada, no sea tan óptima para esa misma variedad pero en zona geográfica distinta.

Un factor muy influyente en la composición cualitativa de la solución nutritiva final que precisa un cultivo determinado es su estado fenológico. El más claro ejemplo se da para el potasio como puede apreciarse en la Figura 3.4. En general las hortalizas que se cultivan para el aprovechamiento de sus frutos tienen incrementos importantes en el consumo de potasio a partir de los diez días anteriores a las primeras recolecciones. Esta característica está muy acusada en el caso del tomate.

En el caso de los cultivos que se hacen fuera de temporada y en invernadero que no permiten optimizar

Figura 3.3:

Esquema de un sistema de inyección con dos tanques de solución madre y uno para ácido.





Plantas adultas de tomate en perlita.

los factores climáticos, sobre todo luz y temperatura, se observa que las plantas demandan soluciones nutritivas ligeramente distintas a las consideradas como óptimas para períodos climáticos favorables.

Cuando la luz escasea y las temperaturas nocturnas rozan los umbrales biológicos de supervivencia de las plantas, tal y como ocurre en el sureste español en épocas de invierno, los cultivos, aún dentro de estas carencias, responden positivamente a ligeros incrementos de las conductividades de las soluciones nutritivas y de las concentraciones de potasio acompañados de una reducción de las concentraciones de los nitratos.

La cuantificación exacta de todos estos cambios en las soluciones nutritivas se consigue en base a experiencia a pie de parcela y a un seguimiento analítico y pormenorizado de todas las circunstancias y factores que concurren en la productividad final de un cultivo determinado.

3.6 ANALÍTICA. MEDIDAS DE CONTROL.

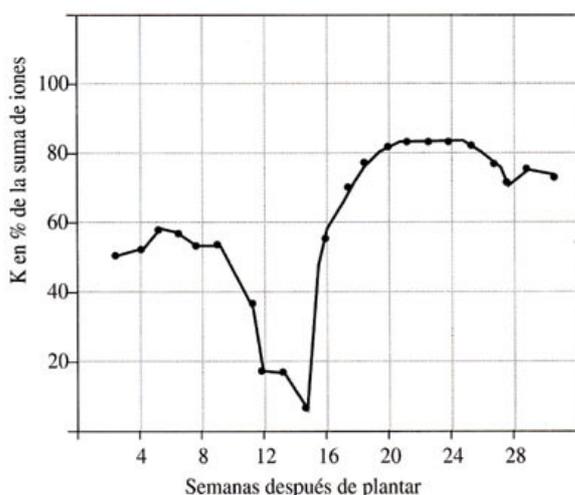
El control de la nutrición en un cultivo sin suelo se realiza aplicando dos metodologías conjunta e inseparablemente. Una de ellas consiste en realizar mediciones y controles en la propia explotación y la otra se basa en el envío de muestras al laboratorio de análisis.

Todos los días, y a pie de parcela, se debe de muestrear el agua de drenaje y medir su conductividad y pH. Cuando se tiene suficiente experiencia se pueden realizar los muestreos cada dos o tres días. El agua de drenaje se cuantifica y con estos datos obtenidos puntualmente se programa el riego tal y como se verá en siguientes capítulos.

Dos veces por semana se medirá la conductividad y el pH de la solución nutritiva que sale por los goteros. De esta forma se contrastará la bondad de los equipos de riego y fertilización y se pueden detectar otras posibles anomalías.

Mensualmente se envían muestras del agua de drenaje a un laboratorio para que sean analizados todos los iones. La información proporcionada por el análisis, y contrastada con la composición iónica de la solución nutritiva aportada al cultivo, debe de servir para realizar las correcciones o ajustes oportunos. No existen, en nuestro país, índices de normalidad contrastados que puedan servir para la interpretación correcta de los datos de los análisis de las aguas de drena-

Figura 3.4:
Composición cualitativa de Potasio.



Cuadro 3.14:

	<i>Tomate</i>		<i>Pepino</i>	
	<i>S.N.</i>	<i>Drenaje</i>	<i>S.N.</i>	<i>Drenaje</i>
CE. mS/cm	1,8	2,5/3	1,5	2,2/2,5
pH	5,5	5,5/6,5	5,5	5,5/6,5
NH ₄ ⁺ mMol/l	0,5	-	0,5	-
NO ₃ ⁻ mMol/l	10,5	7,0/11	11,5	8,0/12
H ₂ P ₄ ⁻ mMol/l	1,5	1,0/1,5	1,5	1,0/1,5
SO ₄ ⁼ mMol/l	1,75	-	1,0	-
K ⁺ mMol/l	7,5	5,5/7,5	6,0	4,0/6
Ca ⁺⁺ mMol/l	3,0	4,2/6,2	3,5	4,0/6
Mg ⁺⁺ mMol/l	1,0	1,5/2	0,75	1,2/1,7

je. En cualquier caso algunas orientaciones sí pueden darse.

En sustratos no inertes los datos analíticos del agua de drenaje se correlacionan muy mal con los datos de la solución nutritiva, así que su interpretación es más complicada.

Comparando aguas de drenaje de sustratos de arena de procedencia caliza, perlita y lana de roca se observa que el pH de la arena es siempre el más alto. Los valores del fósforo, hierro y manganeso son siempre más bajos en arena que en perlita y lana de roca. Los valores de calcio y magnesio son más altos en la arena. Los valores de nitrógeno y potasio son aproximadamente iguales en los tres sustratos. Naturalmente que este comportamiento es para el caso de aportar las mismas soluciones nutritivas a los tres sustratos.



Cultivo de pimientos en perlita.

El control de la nutrición mediante el análisis foliar es una práctica poco común en cultivos sin suelo. Si un elemento diera deficiencia en un análisis foliar y el agua de drenaje demostrara que existe suficiente cantidad de ese elemento en el sustrato, parece claro que la solución no sería aportar más cantidad de dicho elemento, sino averiguar las causas que impiden la asimilación del mismo.

El éxito en el control de la nutrición y en la programación del riego no depende sólo de la correcta medición de los parámetros que se han comentado. Conseguir que las muestras sean representativas de todo el cultivo es el primer paso para un resultado satisfactorio.

3.7 ALGUNAS GENERALIDADES SOBRE EL MANEJO DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS.

A título orientativo se muestran en el Cuadro 3.14 dos soluciones nutritivas, para tomale y pepino, y los valores de tolerancia en el agua de drenaje, según Verdure.

La experiencia práctica dice que los niveles propuestos en estas soluciones nutritivas, no parecen ajustarse a las necesidades de los cultivos de la zona a que se hace referencia en esta obra.

Por ejemplo, en la práctica, y en tiempo caluroso

(campaña de otoño) se utilizan soluciones que contienen niveles más altos de nitratos, calcio y magnesio y más bajos de potasio. Según se va acercando el invierno, y los cultivos entran en fases de producción, dichos valores tienden a acercarse a los propuestos por Verdure.

También es una práctica habitual, con aguas de mala calidad, tan desgraciadamente frecuentes, permitir que la conductividad del agua de drenaje suba ligeramente reduciendo el porcentaje de lavado.

Por el contrario, en épocas calurosas se tiende a manejar soluciones de una conductividad más baja, e incluso, dependiendo de las aguas, aumentar los porcentajes de drenaje.