

CARACTERIZACION Y PREPARACION DE FERTILIZANTES LIQUIDOS PARA FERTIRRIGACION

Gabriela Estrada E.¹
Química M. Suelos

1. FERTILIZANTE LIQUIDO

Recibe este nombre el material que contiene uno o más nutrientes de plantas dispersos en un medio líquido, incluyendo los fertilizantes foliares. Sin tener en cuenta estos últimos, se define como fertilizante líquido o fluido todo material fertilizante que puede ser manipulado, almacenado, transportado y aplicado al suelo en forma líquida (3).

Se clasifican, de acuerdo como se encuentra el nutriente disperso en el medio líquido, en soluciones y suspensiones (3).

Por solución se entiende un cuerpo homogéneo constituido por un solvente, y uno o varios solutos en proporciones variables, éstos se han distribuido a tamaño molecular o iónico. Las soluciones fertilizantes tienen como solvente el agua y los solutos pueden ser gases (amoníaco), líquidos (ácido fosfórico, nítrico, sulfúrico) o sólidos (sales, úrea, etc.).

Las suspensiones tienen parte de la sal fertilizante no disuelta representada por cristales pequeños, con diámetro de 0,8 mm, mantenidos en suspensión por un coloide protector que comúnmente es atapulgita o bentonita. El tamaño de los sólidos suspendidos debe controlarse para evitar la obstrucción de las boquillas de riego, cuyo orificio puede tener de 1 a 3 mm de diámetro.

Las ventajas de las suspensiones, con respecto a las soluciones, son las siguientes:

- Permiten mayor riqueza en elementos nutrientes. La concentración de los nutrientes en suspensiones puede exceder las 45 unidades mientras que en las soluciones alcanza las 28.

- Hay menor posibilidad de incompatibilidades, la precipitación no es un problema.
- Se pueden usar sales menos puras y aguas de menor calidad lo que disminuye los costos.

Las desventajas son la posible obstrucción de boquillas y tuberías, la abrasión que producen en los equipos de bombeo y la separación de la suspensión en el almacenamiento, ya que a pesar de tener un coloide protector de la decantación, ésta se presenta si transcurren períodos largos sin agitación.

Las soluciones son los fertilizantes líquidos más usados en Estados Unidos y Brasil (3); esto se debe a la posibilidad de aplicarlas más fácilmente con el amoníaco anhidro y en los sistemas de riego o fertirrigación. El principal problema es su baja concentración, debida a la solubilidad de las materias primas.

Generalmente los fertilizantes líquidos en solución son abonos simples, o sea que tienen un solo nutriente de las plantas. Las más comunes contienen solo nitrógeno pero también pueden existir de nitrógeno y potasio, de nitrógeno y fósforo, y de nitrógeno, fósforo y potasio.

2. FUENTES FERTILIZANTES PARA PREPARAR SOLUCIONES

Vitti et al 1993, citando a varios autores consideran que se deben tener en cuenta, al escoger un fertilizante para aplicar en fertirrigación, las siguientes características:

- a) Solubilidad rápida y completa
- b) Baja capacidad de corrosión
- c) Baja volatilidad

¹ Profesora Asociada. Departamento de Química - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

- d) Compatibilidad
- e) Baja toxicidad
- f) Ser económico

A continuación se presentan las fuentes más usadas que pueden reunir algunas de estas características.

2.1 Soluciones y Suspensiones

Hidróxido de amonio - Es una solución de amoniaco en agua con una riqueza aproximada 16 al 20% de N. Se debe tener cuidado con los vapores que se producen.

UAN ó URAN - Puede contener entre el 28 y el 32% de nitrógeno, se produce disolviendo conjuntamente nitrato de amonio y úrea, por consiguiente tiene 3 formas de nitrógeno: amídico, amónico y nítrico.

Suspensiones coloidales - Se obtienen por la reacción entre el ácido ortofosfórico y el amoniaco, los fosfatos de amonio producidos están disueltos en el medio. Se conocen como soluciones bases. Ejemplo de ellas son las mezclas 06-30-00 y 10-30-00. Tienen una consistencia espesa y una viscosidad relativamente alta (2, 3).

SULFURAN - Se obtiene de manera semejante al URAN ó UAN y se le agrega sulfato de amonio para tener un porcentaje de azufre del 4% (3).

También se usan ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido fosfórico, teniendo cuidado en el manejo y neutralizándolos para producir la solución final.

El más importante de ellos es el ácido fosfórico. Existen dos tipos de ácido ortofosfórico según el proceso de producción (2): El ácido de proceso húmedo donde la roca fosfórica se trata con ácidos sulfúrico y fosfórico. Es un producto más barato pero tiene más impurezas y el ácido del método del horno eléctrico donde el fósforo se volatiliza en presencia de oxígeno para producir P_2O_5 que luego reacciona con agua para dar ácido ortofosfórico; una gran cantidad de éste se usa para producir fertilizantes líquidos. Si el P_2O_5 se hidrata con menor cantidad de agua que la

necesaria para el paso anterior se forman los ácidos polifosfóricos que constituyen el ácido superfosfórico de gran uso en Estados Unidos en la producción de soluciones fertilizantes.

2.2 Sólidas

Deben ser altamente solubles.

Fuentes de Nitrógeno: Urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, fosfatos monoamónico y diamónico, también los nitratos como nitrato de calcio y de potasio.

Fuentes de Fósforo: Los ya nombrados fosfatos de amonio, también los de potasio producidos por reacción entre el ácido fosfórico y el hidróxido de potasio.

Superfosfato triple. En él el fosfato soluble es el $Ca(H_2PO_4)_2$ cuya solubilidad es del orden de 1,8 g de la sal monohidratada por 100 g de agua fría. Las otras formas de fosfato de calcio se consideran insolubles en agua (13).

Fuentes de Potasio: El más usado es el KCl. Las soluciones fertilizantes preparadas con KCl tienen como máximo un 12% de K_2O (2). Las otras fuentes de potasio, el nitrato y el sulfato, son menos solubles por lo que se usan poco en soluciones fertilizantes, en suspensiones son más usadas.

Desde el punto de vista agronómico, el hidróxido de potasio es una buena fuente del elemento, pero es una sustancia costosa y cáustica. Se usa para que reaccione con los ácidos (2).

Fuentes de Elementos Secundarios: El nitrato de calcio, el sulfato de magnesio y el sulfato de amonio o de potasio están entre las fuentes más solubles de estos elementos.

Micronutrientes

Los micronutrientes en las soluciones claras de fertilizantes se agregan, en general, como quelatos. Este tipo de complejos, donde la unión se forma entre el ion central -el micronutriente - y

por lo menos dos pares de electrones libres de una misma molécula del ligante, lleva a productos más estables.

Los agentes quelatantes más usados en los fertilizantes fluidos son los siguientes (2):

CDTA	Acido ciclohexano diaminotetraacético
DTPA	Acido dietilentriamino pentaacético
EDTA	Acido etilendiamino tetraacético
HECTA	Acido hidroxietilendiamino tetraacético
NTA	Acido nitrilotriacético

Con ellos pueden formar complejos el hierro, el zinc, el cobre y el manganeso. Como fuente de molibdeno se utiliza el molibdato de amonio y de boro el ácido bórico o sus sales sódicas.

3. SOLUBILIDAD Y FACTORES QUE LA AFECTAN

Una de las características exigidas a los fertilizantes usados en fertirrigación es una alta solubilidad, por eso el tema se tratará con algún detalle.

Solubilidad

La solubilidad de un compuesto en un determinado solvente depende de las interacciones entre las dos sustancias. Para que haya disolución, la afinidad solvente-soluto debe ser mayor que la del soluto-soluto. Este se puede disolver por disociación en iones, por puentes de hidrógeno o por atracciones dipolo-dipolo.

Las soluciones pueden ser diluidas, saturadas o sobresaturadas. Las diluidas son aquellas que pueden disolver más soluto, mientras que las saturadas no tienen esa capacidad y si se agrega un exceso de éste, se separa. Las sobresaturadas, por diversos fenómenos, tienen más soluto disuelto que la solución saturada. Ese equilibrio metaestable se rompe por la presencia de un cristal del soluto, que sirve de semilla para la cristalización.

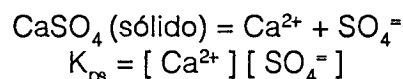
La solubilidad de un soluto en agua varía dependiendo de la interacción de cada soluto

con el solvente. Los solutos se consideran desde solubles hasta insolubles según la cantidad de ellos que se disuelve por litro de agua. Una clasificación es la siguiente:

Tipo de soluto	Solubilidad g/litro de agua
Soluble	Más de 50
Moderadamente soluble	10 - 50
Ligeramente soluble	1 - 10
Moderadamente insoluble	0,01 - 1
Insoluble	Menos de 0,01

Producto de solubilidad

Cuando la sustancia se considera insoluble (solubilidad muy pequeña) es posible conocer la cantidad disuelta mediante el empleo del producto de solubilidad (K_{ps}) que es una constante a una temperatura dada. Este caso se presenta con el CaSO_4 cuyo K_{ps} a 25°C es 6.1×10^{-5} y corresponde a la siguiente reacción:



El logaritmo negativo de K_{ps} se conoce como el $\text{p}K_{ps}$. Una sustancia será menos soluble mientras más pequeño sea el K_{ps} o más grande el $\text{p}K_{ps}$.

Para las sustancias conocidas como solubles no se tiene un K_{ps} ; su solubilidad se expresa como los gramos de ella que se disuelven en 100 gramos de agua, a una temperatura dada, para producir una solución saturada. Es decir, la máxima cantidad de ese soluto que se puede disolver en 100 gramos de agua, a dicha temperatura.

En la *Tabla 1* aparecen las solubilidades para algunos compuestos usados como fertilizantes, a diferentes temperaturas.

TABLA 1. SOLUBILIDAD DE SALES FERTILIZANTES PURAS EN g/100g DE AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS EN °C

SAL	TEMPERATURA	0	20	40	100
KNO ₃		13,3	31,6	63,9	245,2
KCl		28,2	34,2	40,3	56,2
K ₂ SO ₄		7,4	11,1	14,8	24,1
KH ₂ PO ₄		14,3	22,7	33,9	----
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O		----	159,0	212,5	----
NH ₄ NO ₃		118,5	187,7	283,0	1000,0
(NH ₄) ₂ SO ₄		70,4	75,4	81,2	102,0
(NH ₄) ₂ HPO ₄		57,5	68,6	81,8	----
NH ₄ H ₂ PO ₄		22,7	36,8	56,7	174,0
CaSO ₄ ·2H ₂ O		0,18	0,20	0,21	0,16
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O		101,0	129,4	196,0	----
CaCl ₂ ·6H ₂ O		60,3	74,5	----	----
CaCl ₂ ·2H ₂ O		----	----	128,1	159,0
MgCl ₂ ·6H ₂ O		52,8	54,6	57,5	72,7
MgSO ₄ ·7H ₂ O		----	35,6	45,4	----
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O		63,9	70,1	81,8	----
NaNO ₃		70,7	88,3	104,9	176,0
NaCl		----	35,9	36,4	39,2
Na ₂ SO ₄		----	----	48,1	42,3
UREA		67,0	108	----	----
NH ₄ Cl		29,4	37,6	46,0	77,3

Fuente: Merck Tablas para Laboratorio.

En las Tablas 2 y 3 aparece la concentración de las soluciones expresada en:

Porcentaje peso a peso (% P/P) g soluto/100 g solución

Porcentaje peso a volumen (% P/V) g soluto/100 mL solución

Molaridad del nutriente (M) moles del nutriente/litro de solución.

**TABLA 2. CONCENTRACION DE ACIDOS Y BASES
USADOS COMO FUENTES DE FERTILIZANTES**

SOLUTO	DENSIDAD g/ml	PORCENTAJE P/V	PORCENTAJE P/P	MOLARIDAD
ACIDO NITRICO	1,340	73,8	55,1	11,7 NO ₃
ACIDO SULFURICO CONC.	1,84	176	95-97	18 SO ₄
ACIDO ORTOFOSFORICO	1,71	145	85	15 PO ₄
AMONIACO-SOLUCION	0,902	24,1	26,7	14,2 N
HIDROXIDO DE POTASIO	1,3	39	30	7,0 K
HIDROXIDO DE POTASIO	1,5	70	47	12,5 K

FUENTES: Densidad y Porcentaje P/P: Tablas Merck
Porcentaje P/V y M: Cálculos del Autor

TABLA 3. CARACTERISTICAS DE LAS SOLUCIONES SATURADAS, A 20°C

SOLUTO	DENSIDAD g/mL	PORCENTAJE P/V	PORCENTAJE P/P	MOLARIDAD
UREA	1,145	57,2	50	
KNO ₃	1,16	28,0	24,1	2,8 K; 2,8 N
KCl	1,174	29,9	25,5	4,0 K
K ₂ SO ₄	1,081	10,8	10,0	1,24 K; 0,62 SO ₄
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	-----	-----	61,4	-----
KH ₂ PO ₄	-----	-----	18,5	-----
NH ₄ NO ₃	1,308	85,0	65,0	10,6 NH ₄ ; 10,6 NO ₃
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,247	53,6	43,0	8,2 NH ₄ ; 4,1 SO ₄
(NH ₄) ₂ HPO ₄	1,34	54,5	40,7	8,4 NH ₄ ; 4,1 PO ₄
NH ₄ H ₂ PO ₄	-----	-----	26,9	-----
NH ₄ Cl	1,075	29,3	27,3	5,5 NH ₄
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	-----	-----	56,4	-----
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,001	0,20	0,20	0,012 Ca; 0,012 SO ₄
CaCl ₂ ·6H ₂ O	1,43	61,1	42,7	2,8 Ca; 5,6 Cl
MgCl ₂ ·6H ₂ O	1,331	47,0	35,3	2,3 Mg; 4,6 Cl
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1,31	34,3	26,2	1,4 Mg; 1,4 SO ₄
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	1,38	56,9	41,2	2,2 Mg; 4,4 NO ₃
NaNO ₃	1,38	64,6	46,8	7,6 NO ₃
NaCl	1,201	31,7	26,4	5,4 Cl
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	1,150	18,5	16,1	0,57 SO ₄

FUENTE: Densidad y Porcentaje P/P: Tablas Merck.
Porcentaje P/V y M: Cálculos del Autor

Efecto de la temperatura sobre la solubilidad
 Al aumentar la temperatura, en general, la solubilidad de los sólidos aumenta y la de los gases disminuye.

En la *Tabla 1* aparece la solubilidad a distintas temperaturas; como puede observarse los cambios dependen de cada sustancia. Así el KNO_3 aumenta mucho su solubilidad al hacerlo la temperatura, mientras que para el KH_2PO_4 el efecto es menor y para el $NaCl$ lo podríamos considerar nulo.

El cambio de la solubilidad con la temperatura debe ser tenido en cuenta especialmente cuando se van a almacenar las soluciones. Descensos fuertes en las noches o en épocas del año pueden llevar a la formación de cristales solo por cambio de solubilidad y muchas veces la disolución no se obtiene espontáneamente aunque vuelva a subir la temperatura.

Otro factor a tener en cuenta es que los cristales obtenidos por enfriamiento lento son relativamente pocos pero grandes, mientras que cuando el enfriamiento es rápido se producen muchos cristales pequeños.

En el almacenamiento de soluciones de gases (ej. amoníaco) se producen pérdidas del nutriente por el aumento de la temperatura.

Efecto del pH

Entre los fertilizantes compuestos más afectados en su solubilidad por el pH son los fosfatos ya que la forma del anión fosfato depende del pH.

En el intervalo normal de pH en los suelos y en las soluciones nutritivas se tienen dos especies de fosfatos $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} . La primera predomina (es prácticamente la única) a pH 4,7 y la segunda a pH 9,7. Entre esos dos pH se producen mezclas de las dos formas en diferentes proporciones.

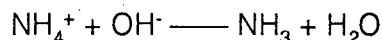
Observando la *Tabla 1* podemos ver que dependiendo del pH se tendrán diferentes formas de fosfato de potasio y de amonio cuya solubilidad es diferente.

4. INCOMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES EN SOLUCION

En las soluciones claras de fertilizantes se presentan dos tipos de incompatibilidad: la que lleva a pérdidas de un fertilizante y la que lleva a la formación de sustancias insolubles.

4.1 Pérdidas

Las soluciones de amoníaco pierden éste, en general, por aumento de la temperatura pero también se puede perder el N de los fertilizantes amoniacales cuando éstos son colocados a pH básicos, ya que se produce la siguiente reacción

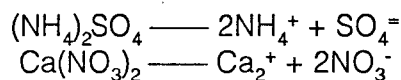


Por lo tanto las sales de amonio no deben mezclarse con sustancias que producen pH básico.

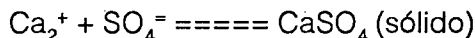
4.2 Formación de precipitados

La mayoría de los compuestos fertilizantes se disuelven en el agua formando iones; una de las propiedades de los iones es que ellos pueden reaccionar con cualquier otro ion presente y esto sucede para entrar a precipitar el compuesto menos soluble.

Un ejemplo de esta situación se presenta cuando juntamos soluciones de sulfato de amonio con nitrato de calcio.



Luego



Observando la *Tabla 1* vemos que hemos pasado de compuestos cuya solubilidad por 100 gramos de agua pura a 20°C es de 75,4 g para el $(NH_4)_2SO_4$, 129,4 g para el $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, al $CaSO_4$ que solo se disuelve del orden de 0,2 g en los mismos 100 mL de agua.

Es necesario entonces mirar la solubilidad de los posibles compuestos a formarse, el sulfato de calcio es un ejemplo. Otro caso importantísimo es

el de los fosfatos; casi todos los fosfatos, excepto los de K^+ , Na^+ y NH_4^+ , son insolubles o de solubilidad muy baja en agua, aunque ella aumenta al disminuir el pH. Esto debe tenerse en cuenta cuando se agregan cationes como Ca_2^+ , Mg_2^+ y los elementos menores que se presentan como cationes. El $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ es el fosfato de calcio más soluble y solo se disuelve 1,8 g de él por 100 g de agua fría (13).

4.3 Disminución de la solubilidad

En este caso la sal que se forma aunque soluble tiene una solubilidad menor que la original.

Un ejemplo de esto se presenta cuando se junta una solución de cloruro de potasio con otra de sulfato de amonio. Se tiene en solución los iones K^+ , Cl^- , NH_4^+ y SO_4^{2-} y de las sales que se pueden formar o sea KCl , NH_4Cl , K_2SO_4 y $(NH_4)_2SO_4$ el K_2SO_4 es la menos soluble (ver Tabla 1). Si la concentración del ion potasio y del ion sulfato son lo suficientemente altas se podría precipitar el K_2SO_4 .

4.4 Presencia de un ion común

La presencia de un ion común también disminuye la solubilidad de los compuestos, una excepción se presenta cuando hay formación de complejos con él, que no es un caso común entre las sales fertilizantes.

Así la solubilidad del KCl se ve disminuida por presencia de HCl , $NaCl$ y $MgCl_2$, ion común con el KCl el cloruro. La solubilidad del K_2SO_4 disminuye por la presencia de KCl o de $(NH_4)_2SO_4$ y se vuelve prácticamente insoluble en una solución saturada de este último (9).

4.5 Inestabilidad de los complejos

Los quelatos de Fe , Zn , Cu y Mn , usados como fuentes de elementos menores, son menos estables a pH bajos que a pH cercanos a la neutralidad, esto se debe a que el ion H^+ compite con el catión del quelato por los pares electrónicos que producen la unión. Por lo anterior, se consideran incompatibles con soluciones fuertemente ácidas como la del HNO_3 . No se produce precipitación inmediata a no ser que el anión del ácido forme precipitado, como podría

ser el ácido fosfórico, pero los cationes pierden la protección que les da el complejo y posteriormente pueden precipitar los micronutrientes más fácilmente.

Las incompatibilidades son mayores en soluciones concentradas que en soluciones diluidas ya que como se vio con anterioridad todo compuesto - aún los llamados insolubles - tienen una posibilidad de disolverse aunque sea en pequeña cantidad.

5. SOLUCIONES NUTRITIVAS Y SOLUCIONES PARA FERTIRRIGACION

Las plantas en los cultivos sin suelo crecen en soluciones nutritivas. El sistema le debe proporcionar a la planta soporte, la solución con los elementos nutritivos suficientes y balanceados, además del oxígeno indispensable para todos los procesos de los seres vivos.

Las plantas pueden crecer con sus raíces dentro de la solución aireada, o en soportes inertes como la vermiculita, cascarilla de arroz, etc., porque tienen suficiente porosidad para permitir la aireación, a través de los cuales se hace circular la solución nutritiva y el agua en sistemas abiertos o cerrados.

También se usan las soluciones nutritivas en cultivos aeropónicos, donde periódicamente se producen aspersiones de ellas sobre las raíces de las plantas.

Se emplean soluciones nutritivas en investigación y para producción agrícola. Algunas de las soluciones nutritivas usadas en las investigaciones de nutrición de plantas pueden consultarse en el libro de Hewitt y Smith, 1975.

La escogencia de una u otra solución depende de los objetivos del trabajo y también de la planta a usar. Para estudiar tolerancia a aluminio se debe usar una solución baja en fósforo debido a que los fosfatos precipitan con el aluminio. Una solución indicada en estos casos es la de Clark o la de Andrew (10).

También pueden usarse soluciones más ricas en nutrientes pero no en su concentración original (1 fuerza) sino diluidas según las características del experimento. Así se recomienda a 1/2, 1/4, 1/8 de fuerza.

Para plantas adaptadas a suelos pobres se recomienda usar soluciones débiles o las fuertes diluidas.

Para la producción agrícola
En los procesos de fertirrigación y fertilización foliar se tiene una solución nutritiva aunque no completamente balanceada, ya que en ella se está haciendo una fertilización cuyo objetivo es suministrar los elementos esenciales que se encuentran en cantidades deficientes.

En la *Tabla 4* aparecen ejemplos de dosis usadas en estos casos.

TABLA 4. EJEMPLOS DE DOSIS PARA FERTIRRIGACION

CULTIVO	N mg/L	mmol/L	K ₂ O mg/L	mmol K/L
BERENJENA	200	14	200	4,2
SEMILLEROS	300	21	300	6,4
	150	11	150	3,2
	200	14	200	4,2
CLAVELES	150	11	180	3,8
APIO	150	11		
CRISANTEMOS	100	7,1	200	4,2
PEPINO	150	11	150	3,2
TOMATE	105	7,5	340	7,2
	170	12	340	7,2

FUENTE: Amézquita, 1994

Para cultivos hidropónicos se han ido diseñando soluciones nutritivas según las exigencias de las plantas. En la *Tabla 5* aparecen ejemplos de ellas.

Algunas características de estas soluciones que también las deben tener en cuenta los sistemas de fertirrigación son las siguientes:

a) Balance y concentración de nutrientes

Deben suministrar todos los elementos esenciales para las plantas.

En mayor concentración, a nivel de milimoles/litro, están los elementos N, P, K, Ca, Mg y S.

En menor concentración, micromoles/litro, irán los llamados micronutrientes o sea Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Cl, B.

TABLA 5. SOLUCIONES NUTRITIVAS

CULTIVO	FRESA	LECHUGA EN AGUA CIRCULANTE	PLANTA EN MACETA-ARCILLA EXPANDIDA
Ion milimol/L			
NH ₄ ⁺	1,0	1,25	1,1
K ⁺	5,5	11,0	5,5
Ca ₂ ⁺	3,25	4,5	3,0
Mg ₂ ⁺	1,25	1,0	0,75
NO ₃ ⁻	11,5	19,0	10,6
SO ₄ ⁻	1,5	1,125	1
H ₂ PO ₄ ⁻	1,0	2,0	1,5
Si	---	0,5	
Ion micromol/L			
Fe	20	40	20
Mn	10	0(5)	10
Zn	7	4	3
B	25	30	20
Cu	0,75	0,75	0,5
Mo	0,5	0,5	0,5
C.E. mS/cm	1,7	2,6	1,6

FUENTE: Straver, 1995

La concentración relativa de los elementos está basada en resultados experimentales.

b) Formas asimilables de los elementos

Todos deben estar en solución y las formas asimilables son las siguientes

Cationes	Aniones
K ⁺ , Ca ²⁺ Mg ²⁺	NO ₃ ⁻ ; H ₂ PO ₄ ⁻ la más asimilable, HPO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	H ₂ BO ₃ ⁻ ; MoO ₄ ²⁻
Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺	SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻
Zn ²⁺	

c) El pH

El intervalo de pH más adecuado para una solución nutritiva está entre 6,0 y 6,5. Esto impide una lesión a la raíz por alta acidez o alta alcalinidad.

Además se están colocando los iones que contienen los elementos esenciales en un pH de mayor disponibilidad. No se aconseja llegar a pH 7,0 porque la mayoría del fósforo se presenta como HPO₄²⁻ cuya velocidad de absorción por la planta es menor que la del H₂PO₄⁻.

d) La relación NH₄⁺/NO₃⁻

El nitrógeno es el elemento que más absorbe la planta, en número de moles, por eso es tan importante la presencia en las dos formas de dicho elemento ya que ayuda a mantener el pH de la solución al balancear las cargas positivas y negativas. Cuando la planta absorbe cationes expulsa al medio iones H⁺ (baja el pH), si absorbe aniones expulsa OH⁻ ó HCO₃⁻ (sube el pH).

En el suelo la parte microbiológica transforma el ion amonio a nitrato, mientras que en la solución nutritiva esto no sucede, por lo tanto se deben evitar los excesos de amonio que le producen colapso a la planta, al entrar gran cantidad de N reducido y descontrolar su sistema metabólico, llevando a un consumo excesivo de carbohidratos a nivel de raíz (6).

e) La presión osmótica

El agua entra a la planta por presión osmótica. Las soluciones nutritivas no deben ser muy concentradas porque impedirán la absorción del agua por la planta.

Se considera que una solución nutritiva no debe tener más de 2 atmósferas de presión osmótica. Esto lleva a tener una concentración de sales en ella del orden de 1500 ppm.

La presión osmótica se puede calcular por la ecuación (7).

$$PV = nRT$$

P: presión osmótica en atmósferas

V: volumen de la solución, en litros

n: moles de iones en solución

T: temperatura en grados Kelvin (K)

R: constante de los gases, 0,082 at L mol⁻¹ K⁻¹

El cumplimiento de esta condición impide que se puedan usar soluciones concentradas de nutrientes y lleva a evitar al máximo la adición de iones no útiles en el sistema como serían cloruros y sodio.

En la Tabla 6 se pueden observar los valores máximos de macronutrientes en solución que toleran algunos cultivos.

TABLA 6. LIMITES DE TOLERANCIA DE ALGUNOS CULTIVOS A LOS MACRONUTRIENTES (mg/L de solución)

CULTIVO	N	P	K
Algodón	40 - 60	20 - 30	100
Banano	15	-----	45
Fríjol	80 - 120	30 - 50	150 - 200
Girasol	40 - 60	20 - 30	100
Naranja	35	3 - 5	8 - 10

FUENTE: Papadopoulos citado por Costa et al (1994)

6. COMO PREPARAR UNA SOLUCION NUTRITIVA

Preparación de la solución para fresa de la *Tabla 5*.

NECESIDADES	mmol/L	mmol carga negativa/L	mmol carga positiva/L
NH ₄ ⁺	1,0	0	1,0
K ⁺	5,5	0	5,5
Ca ₂ ⁺	3,25	0	6,5
Mg ₂ ⁺	1,25	0	2,5
NO ₃ ⁻	11,5	11,5	0
SO ₄ ⁻	1,5	3,0	0
H ₂ PO ₄ ⁻	1,0	1,0	0
TOTAL CARGA		15,5	15,5

Pasos - Metodología de Monnerat⁽¹⁾

- a) Hacer suma de cargas positivas y negativas. Si no resultan iguales se necesitaría agregar Na⁺ para aumentar los cationes o Cl⁻ para los aniones. En este ejemplo son iguales.
- b) Seleccionar las sales disponibles. Pueden ser las de la Tabla siguiente, los valores en cada opción están expresados en mmol/litro o mM.

SALES	OPCION C	OPCION D	OPCION E
Ca(NO ₃) ₂	3,25	3,25	3,25
MgSO ₄	1,25	1,25	1,25
NH ₄ NO ₃	1,0	---	0,50
KNO ₃	4,0	5,0	4,5
NH ₄ H ₂ PO ₄	---	1,0	---
(NH ₄) ₂ SO ₄	---	---	0,25
K ₂ SO ₄	0,25	0,25	---
KH ₂ PO ₄	1,0	---	1,0

- c) Cálculos de los valores de cada sal. Empezar asignando el calcio que tiene una sola fuente 3,25 mmol Ca(NO₃)₂ dan 3,25 Ca y 6,5 NO₃⁻. Luego puede ser Mg, sería 1,25 mmol de

MgSO₄, se tendría 1,25 mmol Mg y 1,25 mmol SO₄⁻. Agregar 1 mmol NH₄NO₃. Adicionar el K, KNO₃ solo se pueden agregar 4,0 mmol para no sobrepasar el nitrato, se puede agregar K₂SO₄ o la otra fuente KH₂PO₄, con 1 mmol de éste quedaría completo el fósforo. Ahora se agrega 0,25 mmol K₂SO₄ para completar el K y el SO₄⁻.

d) Otra posibilidad

Igual Ca y Mg

Luego KNO₃ 5 mmol

K₂SO₄ 0,25 mmol

NH₄ H₂PO₄ 1 mmol

Nota: K₂SO₄ puede producirse con H₂SO₄ y KOH

KH₂PO₄ puede ser mezcla de H₃PO₄ y KOH

e) Igual Ca y Mg

Luego (NH₄)₂SO₄ 0,25 mmol, se completa SO₄⁻ y se agrega 0,5 NH₄⁺

Después 0,5 mmol NH₄NO₃ - se completa el NH₄

Después KNO₃ 4,5 mmol, se completa NO₃⁻,

falta 1 mmol K y el fósforo

Adicionar 1 mmol de KH₂PO₄

- f) Para preparar la solución nutritiva de los micro elementos se puede tener una mezcla de ellos, excepto el hierro, mil veces más concentrada que la que se va a usar, así la adición de 1 mL de ella por litro de solución nutritiva nos daría la concentración adecuada. Para Mn, Zn y Cu se pueden usar cloruros o sulfatos, para Mo molibdato de sodio o ácido molíbdico y para boro H₃BO₄.

El hierro es mejor agregarlo como el quelato Fe-EDTA, esta solución debe estar separada y protegida de la luz.

- g) Para los macronutrientes se pueden preparar soluciones 1M de ellos en los casos que sea posible, así al adicionar 1 mL de esta solución por litro de la nutritiva se estará agregando una

¹ Comunicación personal Dr. P.H. Monnerat, Profesor Universidad Federal de Vicosa, M.G., Brasil.

milimol. Si la molaridad de la solución concentrada es diferente de 1 será necesario hacer los cálculos pertinentes.

- h) Tanto los macro como los micronutrientes, previamente disueltos, se agregan a un volumen grande de agua, cercano al volumen final de la solución nutritiva y agitando permanentemente.

La *Tabla 7* creada por Monnerat y citada por Novais et al, 1989 es una excelente guía para la preparación de las soluciones nutritivas concentradas. En ella se exige compuestos puros y agua destilada o desmineralizada porque está diseñada para experimentación; para cultivos se usan productos fertilizantes pero es obvio que la solubilidad dependerá de la pureza de estos y de la calidad del agua usada.

TABLA 7. SOLUCIONES CONCENTRADAS PARA LA PREPARACION DE DIFERENTES SOLUCIONES NUTRITIVAS

SOLUCION	MOLARIDAD	g/litro
KNO ₃	1M	101,11
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1M	236,16
NH ₄ H ₂ PO ₄	1M	115,03
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1M	246,49
NH ₄ NO ₃	1M	80,04
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,01	1,72
NaNO ₃	1M	84,99
KH ₂ PO ₄	1M	136,09
K ₂ SO ₄	0,5M	87,13
(NH ₄) ₂ SO ₄	1M	132,14
MgCl ₂ ·6H ₂ O	1M	203,31
Na ₂ SO ₄	1M	142,04
CaCl ₂ ·2H ₂ O	1M	147,02
Na ₂ EDTA	40mM	14,89 en 400 mL de agua
FeCl ₃ ·6H ₂ O ⁽¹⁾	40mM	10,84 en 400 mL de agua
H ₃ BO ₃ ⁽²⁾	25 mM	1,546
MnCl ₂ ·4H ₂ O	2mM	0,396
ZnCl ₂	2mM	0,273
NaCl	50mM	2,922
CuCl ₂ ·2H ₂ O	0,5mM	0,085
H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₃)	0,5mM	0,081

⁽¹⁾ Disolverlos separadamente, después juntarlos y llevar a un litro.

⁽²⁾ Disolverlo en agua caliente antes de llevar a volumen.

Con el presente trabajo se ha querido dar una visión panorámica de los tópicos a tener en cuenta al preparar soluciones nutritivas, para usar tanto en fertirrigación como en hidroponía.

En cada caso particular se deberá conocer las necesidades específicas de los cultivos, las fuentes disponibles y de bajo costo; sin olvidar los cuidados con la manipulación de las mismas y la protección del ambiente.

Agradecimiento. Profesor Titular Alvaro Cortés. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química, por las sugerencias hechas sobre el manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

1. AMEZQUITA E. Fertirrigación. Algunos comentarios sobre su utilización. En Francisco Silva editor. Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y control. SCCS 1994 p. 290.
2. AGRICULTURAL RETAILERS ASSOCIATION. Fluid fertilizers 1994 Ed. ARA St. Louis Mo. Vol.1
3. BOARETTO, R.E.; CRUZ, A.P.; LUZ, PHC. Aolubo líquido: Produção e uso no Brasil. Cargill, Campinas, S.P., 1991 p. 9-39.
4. COSTA E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA P.A. Quimigacao. Embrapa, Brasília, 1994. p.186.
5. HEWITT E.; SMITH T.A. Plant Mineral Nutrition Unibooks London 1975 Cap. 3.
6. KAFKAFI, U. Combined irrigation and fertilization in acid zones. □ Israel J. of Plant Sci 42:301-320. 1994.
7. MALAVOLTA E.; KLIEMANN H.J. Desordens nutricionais no cerrado. □ Potafos, Piracicaba S.P. 1985. p.18-19
8. MERCK: Tablas para Laboratorio. Darmstadt, sf.
9. MERCK. Index. 9 ed. Merck Co. Rahway N.J. 1976.
10. NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. U. Federal de Vicosa. Brasil, 1989. Apéndice.
11. STRAVER, N. Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates. 10 ed. p.1-45. presentado en Congreso Internacional sobre Fertirrigación. Haifa, Israel. 1995.
12. VITTI G.C.; BOARETTO, A.E.; PETEADO S.R. Fontes de fertilizantes e fertirrigacao. Simposio brasileiro sobre fertilizantes fluidos. Piracicaba 1993. p. 233-256.
13. WEST R.C. ed. CRC Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press, Boca Ratón, Florida USA. 1983. Sección B.