

## Manual Básico: Diseño fertilización. Calculo de soluciones nutritivas.

Consiste en calcular la cantidad de fertilizantes que hay que añadir al agua de riego, para conseguir la solución nutritiva considerada óptima para el cultivo.

### 1. Solución nutritiva aportada a la planta.

Partimos de una solución nutritiva conocida final, que utilizaremos como guía, solución que saldrá al final por el goteo. La conocemos por nuestra experiencia o por bibliografía, expresada en mmol/L.

No tenemos que llegar a ajustarla perfectamente pero nos valdrá de modelo.

Estas soluciones standard nos pueden servir como referencia:

Soluciones nutritivas, drenaje 30%, C.E. dS/m, iones mmol/L y microelementos mg/L (ppm)																		
		Aniones						Cationes					Microelementos					
Tomate	C.E.	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Sist.Abierto	2.60	5.80	13.00	2.00	6.00	<1.2		0.50	9.50	7.00	3.00		2	1.2	0.6	0.8	0.1	0.1
Sist.Cerrado	1.60	5.80	12.00	1.50	3.00	<1.2		0.50	6.50	4.00	2.00		2	1.2	0.1	0.6	0.1	0.1
Sol.en raiz	2.70	5.80	21.00	1.20	9.00	<1.2	<16	0.00	8.00	12.00	5.50	<12	3	1	1	1.4	0.1	0.1
Pimiento	C.E.	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Sist.Abierto	2.10	6.50	15.00	1.50	4.00	<1.2		0.00	6.00	7.00	3.00		2	1.2	0.6	0.8	0.1	0.1
Sist.Cerrado	1.60	6.50	12.00	1.20	3.00	<1.2		0.00	5.00	5.00	2.50		2	1.2	1.2	0.6	0.1	0.1
Sol.en raiz	2.70	6.50	17.00	1.40	7.00	<1.2	<9	0.00	5.00	12.00	5.50	<6	2	0.6	1	2	0.1	0.1
Pepino	C.E.	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Sist.Abierto	2.20	5.50	16.00	1.50	3.50	<1.2		0.50	8.00	6.00	2.50		2	1.2	0.6	0.6	0.1	0.1
Sist.Cerrado	1.70	5.50	12.50	1.50	2.50	<1.2		0.50	6.50	4.00	2.00		2	1.2	0.6	0.6	0.1	0.1
Sol.en raiz	2.70	5.50	20.00	1.00	7.00	<1.2	<9	0.00	7.00	8.50	4.50	<8	2	1	1.2	1.2	0.2	0.1

Como ejemplo para el desarrollo del manual tomaremos la siguiente solución nutritiva como guía. Las soluciones con el tiempo y la experiencia, las ajustamos a los parámetros climáticos de la zona y las necesidades fisiológicas de la planta.

Macroelementos	Solución nutritiva (mmol/L)		
	Ideal (suelo)	Ideal (sin suelo)	Limite
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12	18	12 – 24
Cl <sup>-</sup>		< 6.0	1.0 – 6.0
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.25 - 1.50	1.5	0.75 – 2.25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0.5	0.1 – 1.0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.25	3.5	2.0 – 4.5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.5-1	1	0.5 – 1.0
K <sup>+</sup>	5	6.0 – 7.5	6.0 – 10
Na <sup>+</sup>		< 6.0	1.0 – 6.0
Ca <sup>++</sup>	4 – 5	6.5	4.0 – 8.0
Mg <sup>++</sup>	1.5 – 2.5	3	1.25 – 4.0

## 2. Nutrientes en agua de riego.

Tenemos en cuenta el agua de riego a la hora de aportar los fertilizantes. Se realizara un análisis de agua de riego para conocer su composición. A la solución nutritiva conocida final (la que queremos que salga por el gotero) le restamos los nutrientes aportados por el agua de riego.

Solución nutritiva aportada = Solución nutritiva final (ideal, modelo) – Aportes agua de riego

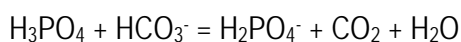
	Aniones					Cationes				
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	

## 3. Calculo de fertilización, solución nutritiva:

### a) Neutralización de bicarbonatos.

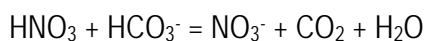
Primero se neutralizan los bicarbonatos HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> con acido, no se neutralizan totalmente se dejan 0.5 mmol/L (si no el pH desciende bruscamente). En nuestro caso se utiliza acido fosfórico. Un miliequivalente de acido neutraliza un miliequivalente de bicarbonato.

Reacción de neutralización:



Si el aporte de acido fosfórico (mmol/L) necesario para neutralizar los bicarbonatos es mayor a los fosfatos (mmol/L) que queremos aportar en la solución final, se siguen neutralizando los bicarbonatos utilizando Acido nítrico (no siempre es necesario).

Reacción de neutralización:



Si se añade Acido nítrico hay que tenerlo en cuenta a la hora de ajustar los nitratos.

En este caso se tienen que neutralizar 3.10 mmol/L de bicarbonatos, por lo que se necesitarían 3.10 mmol/L de Ac. fosfórico. Como se exceden las necesidades de fosfatos, es necesario aporta Ac. nítrico. Se aporta 1.50 mmol/L de Ac. Fosfórico y 1.60 mmol/L de Ac. nítrico.

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
KNO <sub>3</sub>											
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>											
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		1.60	1.50		-3.10						

b) Ajuste del Calcio.

Todo el Calcio se ajusta utilizando nitrato de calcio.

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>											
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>											
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		6.36	1.50		-3.10				2.38		

Para 2.38 mmol/L de Calcio se añaden 2.38 mmol/L de nitrato de calcio, con lo que también se añaden 4.76 mol/L de nitratos. La relación es por un mol de nitrato de calcio, un mol de calcio y dos de nitratos.

c) Ajuste del Potasio.

Se ajusta el potasio añadiendo nitrato potásico, teniendo en cuenta no exceder la cantidad de nitratos que necesitamos para la solución final. Por cada mol de nitrato potásico, un mol de potasio y dos de nitratos.

Si se excediera los nitratos, se utiliza solo nitrato potásico hasta llegar a los aportes necesarios de nitratos. El resto de potasio se añade como sulfato potásico o cloruro potásico. Por cada mol de Sulfato potásico, dos moles de potasio y uno de sulfato y por cada mol de cloruro potásico un mol de cloro y uno de potasio. Este no es el caso con el nitrato potásico es suficiente.

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>	4.84	4.84						4.84			
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>											
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		11.20	1.50		-3.10			4.84	2.38		

d) Ajuste del fósforo.

Si el fósforo aportado como Ac. fosfórico es insuficiente para el ajuste. El resto de fósforo se aportaría como fosfato monoamónico o fosfato monopotásico, siempre teniendo en cuenta no sobrepasar el nivel de amonio ni de potasio, respectivamente, en la solución final. En este caso no sería necesario ajustar el fósforo ya que con el fósforo aportado con el Ac. fosfórico utilizado para neutralizar los bicarbonatos es suficiente.

e) Ajuste de los nitratos.

El resto de nitratos hasta completar los 11.77 mmol/L, se podría completar añadiendo nitrato amónico o nitrato de magnesio, pero como la diferencia es pequeña no sería necesario.

No obstante como es un ejemplo lo realizaremos. La relación es por mol de nitrato de amonio, un mol de nitrato y un mol de amonio y por mol de nitrato de magnesio, dos moles de nitratos y un mol de magnesio. En este caso utilizamos nitrato amónico.

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>	4.84	4.84						4.84			
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.57	0.57					0.57				
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		11.77	1.50		-3.10			4.84	2.38		

f) Ajuste del magnesio.

En este caso con el aporte de magnesio del agua de riego es más que suficiente. En el caso de que el aporte de magnesio del agua de riego fuese insuficiente, se utilizaría sulfato de magnesio hasta completar los mmol/L necesarios. Se aportan un mol de sulfato y otro de magnesio por cada mol de sulfato de magnesio.

No se utiliza nitrato de magnesio porque se desajustarían los nitratos.

g) Ajuste del amonio.

Para ajustar el amonio se utiliza sulfato amónico. La relación es por cada mol de sulfato amónico, un mol de sulfato y dos moles de amonio.

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>	4.84	4.84						4.84			
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.57	0.57					0.57				
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.22			0.22			0.43				
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		11.77	1.50	0.22	-3.10		1.00	4.84	2.38		

Lo normal en este caso hubiera sido no utilizar el nitrato amónico en el ajuste de los nitratos y ajustar todo el amonio como sulfato amónico, para utilizar menos fertilizantes distintos.

Si los nitratos que se añaden son solo el nitrato de calcio y del nitrato potasio y se ajusta todo el amonio como sulfato amónico, el cuadro de cálculo de solución nutritiva queda del siguiente modo:

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>	4.84	4.84						4.84			
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>											
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50			0.50			1.00				
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		11.20	1.50	0.50	-3.10		1.00	4.84	2.38		

No tenemos porque llegar a ajustar totalmente la solución ideal esta nos sirve como referencia. Si es muy importante no salirnos de los valores mínimos y máximos admisibles para la planta de cada macroelemento.

h) Solución nutritiva final.

La solución final sería la suma de los aportes de fertilizantes y aportes del agua de riego, esta quedaría:

		Aniones					Cationes				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
mmol/L	Agua de riego	0.23	0.00	0.64	3.60	6.99	0.00	0.16	1.62	2.1	4.74
mmol/L	Solución ideal	12.00	1.50	1.25	0.50		1.00	5.00	4.00	2.00	
mmol/L	Aportes previstos	11.77	1.50	0.61	-3.10		1.00	4.84	2.38	0.00	
		Aniones					Cationes				
Fertilizantes	mMol/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1.50		1.50		-1.50						
HNO <sub>3</sub>	1.60	1.60			-1.60						
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.38	4.76							2.38		
KNO <sub>3</sub>	4.84	4.84						4.84			
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>											
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50			0.50			1.00				
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>											
KCl											
MgSO <sub>4</sub>											
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>											
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>											
Aportes reales		11.20	1.50	0.50	-3.10		1.00	4.84	2.38		
Sol. Nutrit. Final(mmol/L)		11.43	1.50	1.14	0.50	6.99	1.00	5.00	4.00	2.10	4.74
Sol. Nutrit. Final(meq/L)		11.43	1.50	2.28	0.50	6.99	1.00	5.00	8.00	4.20	4.74

Suma Aniones (meq/L)	22.70
Suma cationes (meq/L)	22.94

meq = mmol x valencia

Para comprobar si hemos realizado bien los cálculos al final nos tiene que dar:

Suma de aniones (meq/L) = Suma de cationes (meq/L)

En nuestro caso como se puede comprobar la solución nutritiva esta ajustada, suma de aniones (22.70) = suma de cationes (22.94), el error es insignificante.

i) Fertilizantes a utilizar en la elaboración de la solución nutritiva.

mMol/L	Fertilizantes	Pm	mg/L
1.50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	86	129
1.60	HNO <sub>3</sub>	78	125
2.38	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	200	476
4.84	KNO <sub>3</sub>	101	489
0.50	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132	66

Obtenemos los mg/L multiplicando, los mmol/L por los pesos moleculares de cada fertilizante. Tenemos la fertilización en ppm.

El ácido fosfórico y el ácido nítrico comercial no es puro, tener en cuenta la riqueza y la densidad, los demás fertilizantes son puros en un 99%.

- Fertilizantes comerciales a aportar en la elaboración de la solución nutritiva:

Ácido fosfórico comercial: riqueza 0.72 densidad 1.695 Kg/l.

Ácido nítrico comercial: riqueza 0.68 densidad 1.407 Kg/l.

mMol/L	Fertilizantes	Pm	mg/L	cc(Ac. comercial)/L	Aporte fertilizantes por m <sup>3</sup> de agua de riego
1.50	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	86	129	0.106	0.106 l/m <sup>3</sup>
1.60	HNO <sub>3</sub>	78	125	0.131	0.131 l/m <sup>3</sup>
2.38	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	200	476		0.476 Kg/m <sup>3</sup>
4.84	KNO <sub>3</sub>	101	489		0.489 Kg/m <sup>3</sup>
0.50	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132	66		0.066 Kg/m <sup>3</sup>

j) Conductividad Eléctrica de la solución nutritiva final.

La conductividad eléctrica es la suma de la conductividad eléctrica del agua de riego y de la conductividad incrementada por la incorporación de los fertilizantes al agua de riego.

- C.E. agua de riego = 1.24 mS/cm

- C.E. Fertilizantes:

Se puede calcular como la suma de los aportes a la conductividad eléctrica de cada fertilizante.

Fertilizante 0.5 gr/l	ΔC.E. μS/cm
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	605
KNO <sub>3</sub>	693
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	850
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1033
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	880
KCl	948
MgSO <sub>4</sub>	410
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	455
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	375
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	448

Antonio L. Alarcón Vera.

Dpto. Producción Agraria (Área Edafología y Química Agrícola) - ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena.  
[www.infoagro.com](http://www.infoagro.com) 2008



- C.E. de la solución nutritiva final.

- Fertilizantes:

Fertilizantes	mg/L	$\Delta$ C.E. $\mu$ S/cm
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	179	279.69
HNO <sub>3</sub>	183	285.94
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	476	575.96
KNO <sub>3</sub>	489	667.75
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	66	136.35
Suma	1393	1945.34

- Agua de riego: C.E. 1.24 mS/cm

- Neutralización de Bicarbonatos:

$$-\Delta\text{C.E.} = 3.10 \times 0.715 \times 0.061 = -0.14 \text{ mS/cm}$$

- C.E. solución nutritiva:

$$\text{C.E. sol.nut.} = 1945 + 1240 - 140 = 3045 \mu\text{S/cm} = 3.045 \text{ mS/cm}$$

Se puede realizar un pequeño ensayo añadiendo las cantidades de fertilizantes en proporción en un recipiente con agua de riego y medir la conductividad directamente con un conductivímetro, de este modo el error a la hora de estimar la conductividad del fertiriego es ínfimo.

Es aconsejable medir la conductividad directamente en el agua de fertiriego que sale por el gotero, con este dato se puede ajustar la fertilización a la C.E. deseada.