

ÍNDICE SUBANEJO 7.3: SOLUCIÓN NUTRITIVA

1. INTRODUCCIÓN	2
2. SOLUCIÓN NUTRITIVA TIPO	2
3. AJUSTE pH.....	3
4. CÁLCULO DE LA DISOLUCIÓN	3
4.1. Macronutrientes	3
4.2. Micronutrientes.....	4
4.3. Conductividad eléctrica (CE).....	5
5. TOMATE	5
Conductividad eléctrica (CE) final	7
6. LECHUGA Y ESCAROLA	8
Conductividad eléctrica (CE) final	9
7. PIMIENTO VERDE DE PADRÓN	10
Conductividad eléctrica (CE) final	11
8. ACELGA	12
Conductividad eléctrica (CE) final	13
9. JUDÍA VERDE	14
Conductividad eléctrica (CE) final	15

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se estipulan las necesidades nutritivas del cultivo para las diferentes especies seleccionadas, en función de una disolución tipo. Al tratarse del cultivo sin suelo, el agua mediante la disolución aporta a la planta todos los nutrientes necesarios para su desarrollo, por tanto se habla en este caso de fertirrigación, en vez de fertilización.

A principios de los años sesenta se definió con carácter práctico los tres factores a tener en cuenta en la solución nutritiva de los cultivos sin suelo (Steiner, 1961):

1. Concentración de cada ión.
2. pH de la disolución.
3. Concentración iónica total.

2. SOLUCIÓN NUTRITIVA TIPO

Se parte de una disolución tipo publicada por la Estación Experimental “Las Palmerillas”, centro experimental de referencia a nivel internacional del avance en cultivo hidropónico. Se encuentra situado en El Ejido, Almería, zona de importancia mundial en la producción en invernadero.

En la siguiente tabla se recogen las soluciones de partida para los diferentes cultivos:

Cultivo	Aniones (mmol/l)			Cationes (mmol/l)			
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Tomate	12	1,5	2	0,5	7	3,75	1
Judía verde	12	1,25	1,5	1	5,5	3,2	1,25
Pimiento verde	13	1,5	2	0,5	7,5	3,5	1,25
Lechuga y escarola	19	2	1,2	1,25	11	4,5	1
Acelga	19	2	1,2	1,25	11	4,5	1

Tabla 1: Solución de partida en función de la especie (mmol/l)

3. AJUSTE pH

El pH en la disolución nutritiva tiene un papel fundamental por que determina la solubilidad de los iones en la disolución. Según diferentes estudios queda establecido que el pH debe estar comprendido entre los valores de 5,0 y 6,5, ya que la mayor parte los nutrientes muestran su máxima disponibilidad en este intervalo (Urrestarazu, 2004).

El análisis del agua de riego da un valor de pH de 5,59, lo cual se encuentra comprendido en el margen correcto, por tanto no se debe ajustar el pH, aun que debe estar controlado en todo momento.

4. CÁLCULO DE LA DISOLUCIÓN

4.1. Macronutrientes

La disolución nutritiva no se prepara en la misma proporción que es suministrada a la planta en el emisor, ya que si se realiza una disolución madre concentrada y se diluye, al aplicarla se evita tener que realizar repetidamente la disolución final, con el consiguiente ahorro en mano de obra.

Se dispone de un tanque donde se realiza la disolución madre concentrada y una bomba de inyección proporcional. Si se dispone de 2 tanques para la disolución madre, ésta puede concentrarse de 100 a 200 veces, con el consiguiente ahorro de mano de obra.

En relación a la compatibilidad de los fertilizantes el problema a tener en cuenta es la tendencia de la precipitación del Ca^{+2} con la presencia de los iones carbonatos, sulfatos o fosfatos. Por ello no se deben utilizar en la mezcla de fertirrigación concentrada aquellos fertilizantes que introduzcan los iones sulfatos o fosfatos con los que cotransporten el calcio.

A efectos prácticos para realizar la disolución nutritiva final los pasos a seguir serán los indicados en el Tratado de cultivo sin suelo (Urrestarazu, 2004):

1. Elección de la disolución nutritiva tipo.
2. Descontar los iones nutritivos presentes en el agua de riego al cómputo final de nutrientes a aportar por los fertilizantes.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

3. Ajustar las concentraciones de fertilizantes a aportar para obtener la disolución final.
4. Calcular y distribuir en los 2 tanques los volúmenes o pesos de cada fertilizante a disolver. Para lo cual ha de tenerse en cuenta:
 - a. No pueden estar en el mismo tanque los iones fosfatos y sulfatos con el ión calcio.
 - b. Intentar conseguir la misma cantidad de fertilizantes a añadir en ambos tanques.
5. Se pasa a su expresión en meq/l, multiplicando por la valencia del radical correspondiente.
6. Utilizando los fertilizantes que aparecen en la última columna se calculan los meq/l a aportar. Se puede observar la diferencia entre el fertilizante aplicado y el recomendado.
7. Cálculo del fertilizante necesario (P_f):

$$P_f = ce \cdot Pe \cdot vl \cdot c$$

Donde:

- **Pe**: peso equivalente de la sal correspondiente.
- **ce**: meq/l necesarios.
- **c**: concentración a la que se desea preparar cada una de las disoluciones madre, en este caso será 100 veces concentrada.
- **vl**: volumen de disolución concentrada a preparar, en este caso serán de 1000 litros.

4.2. Micronutrientes

Se utilizará para el ajuste los microelementos un complejo de micronutrientes (mix) que presenta unas concentraciones apropiadas de los seis elementos (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo), que requieren las plantas en menor medida. Para todos los cultivos se empleará la misma concentración, que irán en el tanque A.

- 0,70% de Fe-EDTA (quelatado).
- 0,30% de Mn-EDTA (quelatado).

- 0,60% de Zn-EDTA (quelatado).
- 0,27% de Cu-EDTA (quelatado).
- 0,65% de B-EDTA (quelatado).
- 0,20% de Mo-EDTA (quelatado).

4.3. Conductividad eléctrica (CE)

La CE de la disolución nutritiva es esencial a la hora de asegurar la producción, ya que hay una correlación entre el aumento de la CE de la disolución nutritiva y el descenso de la producción.

Para realizar el cálculo de la de la disolución nutritiva se utilizará la fórmula propuesta por Sonneveld (1997):

$$\text{CE} = \Sigma \text{ cationes} / 10$$

Donde: cationes (meq/l) y la CE (dS/m).

Se recomienda usar la variación de los equilibrios de nutrientes con relación al estado vegetativo y reproductivo de la planta, pero en la práctica es frecuente que se utilice un solo equilibrio para todo el cultivo y se varíe únicamente la CE de la disolución a lo largo del mismo, lo cual supone alterar la relación entre el soluto (concentración iónica) y el disolvente (agua).

5. TOMATE

Cálculo de los aportes previstos mediante los fertilizantes utilizando la disolución tipo previamente descrita en el punto 2 de este subanejo, con los datos obtenidos del análisis del agua de riego, descritos en el subanejo 1.3.

En las siguientes tablas se recogen los fertilizantes que se deben aportar y los niveles de los mismos en cada tanque, siguiendo los pasos descritos en el punto anterior.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

<i>TOMATE</i>		Aniones					Cationes					pH	CE (dS/cm)
		NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Solución nutritiva		12	1,5	2	0,5		0,5	7	3,75	1			
Agua		0,19	0	1,2	0,98	0,99	0	0,28	1,24	0,7	0,22	5,59	0,44
Aportes	mmol/l	11,81	1,5	0,8	-0,48		0,5	6,72	2,51	0,3			
Ca(NO ₃) ₂	2,51	5,02					0,42		2,51				
H ₃ PO ₄													
HNO ₃	0,48	0,48			-0,48								
KNO ₃	3,62	3,62						3,62					
K ₂ SO ₄	1,6			0,80				1,6					
MgSO ₄													
NH ₄ NO ₃													
(NH ₄) ₂ SO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄	1,5		1,5					1,5					
Mg(NO ₃) ₂	1,35	2,69								1,35			
Aportes reales mmol/l		11,81	1,5	0,80	-0,48		0,42	6,72	2,51	1,35			
Aportes reales meq/l		11,81	1,5	1,6	-0,48		0,42	6,72	5,02	2,7			
Aportes finales mmol/l		12	1,5	2,00	0,5	0,99	0,5	7	3,75	1,75	0,22		
Σ TOTAL (meq/l)		12,83					11,00						

Tabla 2: Cálculo de las necesidades por fertilizante para el tomate.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

Solución nutritiva mmol/l		Peso (kg) o volumen (L) a utilizar para 1000 l concentrada 100 veces	Unidades	Distribución en tanques		
Aportes	meq/l			A	B	Ácido
Ácido nítrico	0,48	3,74	L			3,74
Nitrato cálcico	5,02	45,68	kg	45,68		
Nitrato magnésico	2,69	34,43	kg	34,43		
Sulfato potásico	3,20	27,84	kg		27,84	
Nitrato potásico	3,62	36,56	kg		36,56	
Fosfato potásico	1,5	20,40	kg		20,40	
			TOTAL	80,11	64,40	3,74

Tabla 3: Necesidades de aporte por fertilizante y distribución por tanques del tomate.

Conductividad eléctrica (CE) final

$$CE = 11,00 / 10 = 1,10 \text{ dS/m}$$

6. LECHUGA Y ESCAROLA

<i>LECHUGA Y ESCAROLA</i>		Aniones					Cationes					pH	CE (dS/cm)
		NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Solución nutritiva		19	2	1,2	0,5		1,25	11	4,5	1			
Agua		0,19	0	1,2	0,98	0,99	0	0,28	1,24	0,7	0,22	5,59	0,44
Aportes	mmol/l	18,81	2	0,0	-0,48		1,25	10,72	3,26	0,3			
Ca(NO ₃) ₂	3,26	6,52					0,55		3,26				
H ₃ PO ₄													
HNO ₃	0,48	0,48		-0,48									
KNO ₃	8,72	8,72					8,72						
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ NO ₃	0,7	0,7				0,7							
(NH ₄) ₂ SO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄	2		2				2						
Mg(NO ₃) ₂	1,20	2,39								1,20			
Aportes reales mmol/l		18,81	2	0,00	-0,48		1,25	10,72	3,26	1,20			
Aportes reales meq/l		18,81	2	2,4	-0,48		1,25	10,72	6,52	2,39			
Aportes finales mmol/l		19	2	0,00	0,5	0,99	1,25	11	4,5	1,60	0,22		
Σ TOTAL (meq/l)		20,33					16,42						

Tabla 4: Cálculo de las necesidades por fertilizante para la lechuga y la escarola.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

Solución nutritiva mmol/l		Peso (kg) o volumen (L) a utilizar para 1000 l concentrada a 100 veces	Unidades	Distribución en tanques		
Aportes	meq/l			A	B	Ácido
Ácido nítrico	0,48	3,74	L			3,74
Nitrato cálcico	6,52	59,33	kg	59,33		
Nitrato magnésico	2,39	30,59	kg	30,59		
Nitrato amónico	0,70	5,60	kg		5,60	
Nitrato potásico	8,72	88,07	kg		88,07	
Fosfato potásico	2	27,20	kg		27,20	
			TOTAL	89,92	93,67	3,74

Tabla 5: Necesidades de aporte por fertilizante y distribución por tanques para la lechuga y la escarola.

Conductividad eléctrica (CE) final

$$CE = 16,42 / 10 = 1,64 \text{ dS/m}$$

7. PIMIENTO VERDE DE PADRÓN

<i>PIMIENTO VERDE</i>		Aniones					Cationes					pH	CE (dS/cm)
		NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Solución nutritiva		13	1,5	2	0,5		0,5	7,5	3,5	1,25			
Agua		0,19	0	1,2	0,98	0,99	0	0,28	1,24	0,7	0,22	5,59	0,44
Aportes	mmol/l	12,81	1,5	0,8	-0,48		0,5	7,22	2,26	0,55			
Ca(NO ₃) ₂	2,26	4,52					0,38		2,26				
H ₃ PO ₄													
HNO ₃	0,48	0,48			-0,48								
KNO ₃	5,72	5,72						5,72					
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ NO ₃	0,12	0,12					0,12						
(NH ₄) ₂ SO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄	1,5		1,5					1,5					
Mg(NO ₃) ₂	0,99	1,97								0,99			
Aportes reales mmol/l		12,81	1,5	0,00	-0,48		0,50	7,22	2,26	0,99			
Aportes reales meq/l		12,81	1,5	4	-0,48		0,50	7,22	4,52	1,98			
Aportes finales mmol/l		13	1,5	1,20	0,5	0,99	0,5	7,5	3,5	1,69	0,22		
Σ TOTAL (meq/l)		13,83					10,97						

Tabla 6: Cálculo de las necesidades por fertilizante para el pimiento verde.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

Solución nutritiva mmol/l		Peso (kg) o volumen (L) a utilizar para 1000 l concentrada a 100 veces	Unidades	Distribución en tanques		
Aportes	meq/l			A	B	Ácido
Ácido nítrico	0,48	3,74	L			3,74
Nitrato cálcico	4,52	41,13	kg	41,13		
Nitrato magnésico	1,97	25,22	kg	25,22		
Nitrato amónico	0,12	0,96	kg		0,96	
Nitrato potásico	5,72	57,77	kg		57,77	
Fosfato potásico	1,5	20,40	kg		20,40	
			TOTAL	66,35	58,73	3,74

Tabla 7: Necesidades de aporte por fertilizante y distribución por tanques para el pimiento verde.

Conductividad eléctrica (CE) final

$$CE = 10,97 / 10 = 1,10 \text{ dS/m}$$

8. ACELGA

ACELGA		Aniones					Cationes					pH	CE (dS/cm)
		NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Solución nutritiva		19	2	1,2	0,5		1,25	11	4,5	1			
Agua		0,19	0	1,2	0,98	0,99	0	0,28	1,24	0,7	0,22	5,59	0,44
Aportes	mmol/l	18,81	2	0,0	-0,48		1,25	10,72	3,26	0,3			
Ca(NO ₃) ₂	3,26	6,52					0,55		3,26				
H ₃ PO ₄													
HNO ₃	0,48	0,48			-0,48								
KNO ₃	8,72	8,72						8,72					
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ NO ₃	0,7	0,7					0,7						
(NH ₄) ₂ SO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄	2		2					2					
Mg(NO ₃) ₂	1,20	2,39								1,20			
Aportes reales mmol/l		18,81	2	0,00	-0,48		1,25	10,72	3,26	1,20			
Aportes reales meq/l		18,81	2		-0,48		1,25	10,72	6,52	2,4			
Aportes finales mmol/l		19	2	1,20	0,5	0,99	1	11	4,5	1,90	0,22		
Σ TOTAL (meq/l)		20,33					16,43						

Tabla 8: Cálculo de las necesidades por fertilizante para la acelga.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

Solución nutritiva mmol/l		Peso (kg) o volumen (L) a utilizar para 1000 l concentrada a 100 veces	Unidades	Distribución en tanques		
Aportes	meq/l			A	B	Ácido
Ácido nítrico	0,48	3,74	L			3,74
Nitrato cálcico	6,52	59,33	kg	59,33		
Nitrato magnésico	2,39	30,59	kg	30,59		
Nitrato amónico	0,70	5,60	kg		5,60	
Nitrato potásico	8,72	88,07	kg		88,07	
Fosfato potásico	2	27,20	kg		27,20	
			TOTAL	89,92	93,67	3,74

Tabla 9: Necesidades de aporte por fertilizante y distribución por tanques para la acelga.

Conductividad eléctrica (CE) final

$$CE = 16,43 / 10 = 1,64 \text{ dS/m}$$

9. JUDÍA VERDE

JUDÍA VERDE		Aniones					Cationes					pH	CE (dS/cm)
		NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
Solución nutritiva		12	1,25	1,15	0,5		1	5,5	3,2	1,25			
Agua		0,19	0	1,2	0,98	0,99	0	0,28	1,24	0,7	0,22	5,59	0,44
Aportes	mmol/l	11,81	1,25	-0,1	-0,48		1	5,22	1,96	0,55			
Ca(NO ₃) ₂	1,96	3,92					0,33		1,96				
H ₃ PO ₄													
HNO ₃	0,48	0,48			-0,48								
KNO ₃	3,97	3,97						3,97					
K ₂ SO ₄													
MgSO ₄													
NH ₄ NO ₃	0,67	0,67					0,67						
(NH ₄) ₂ SO ₄													
NH ₄ H ₂ PO ₄													
KH ₂ PO ₄	1,25		1,25					1,25					
Mg(NO ₃) ₂	1,39	2,77								1,39			
Aportes reales mmol/l		11,81	1,25	0,00	-0,48		1,00	5,22	1,96	1,39			
Aportes reales meq/l		11,81	1,25	2,3	-0,48		1,00	5,22	3,92	2,78			
Aportes finales mmol/l		19	1,25	1,20	0,5	0,99	1	5,5	3,2	1,54	0,22		
Σ TOTAL (meq/l)		12,58					9,57						

Tabla 10: Cálculo de las necesidades por fertilizante para la judía verde.

Subanejo 7.3: Solución nutritiva

Solución nutritiva mmol/l		Peso (kg) o volumen (L) a utilizar para 1000 l concentrada a 100 veces	Unidades	Distribución en tanques		
Aportes	meq/l			A	B	Ácido
Ácido nítrico	0,48	3,74	L			3,74
Nitrato cálcico	3,92	35,67	kg	35,67		
Nitrato magnésico	2,77	35,46	kg	35,46		
Nitrato amónico	0,67	5,36	kg		5,36	
Nitrato potásico	3,97	40,10	kg		40,10	
Fosfato potásico	1,25	17,00	kg		17,00	
TOTAL				71,13	45,46	3,74

Tabla 11: Necesidades de aporte por fertilizante y distribución por tanques para la judía verde.

Conductividad eléctrica (CE) final

$$CE = 9,57 / 10 = 1,64 \text{ dS}$$

Subanejo 7.3: Solución nutritiva