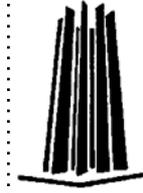




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN
LIC. EN PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO
AGROPECUARIO
CENTRO DE PRÁCTICAS PRODUCTIVAS



CALCULO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y PREPARACIÓN DE FERTILIZANTES

ELABORO:

Mtro. Eugenio Cedillo Portugal

Lic. Leova Pamela Martínez Hernández

Hugo Casiano Herrera

Dulce Lorena Hernández Alvarado

Cintya Monserrat Padilla Martínez

Miroslava Ailed Rodríguez Terán

“Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM DGPA PAPIIME” Clave: PE202520

Marzo de 2021



LA SOLUCIÓN NUTRITIVA



LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA ES UNA SOLUCIÓN ACUOSA QUE CONTIENE OXÍGENO DISUELTO Y TODOS LOS NUTRIENTES ESENCIALES EN FORMA DE IONES DISOCIADOS (CATIONES+ Y ANIONES-). LOS NUTRIENTES SON APORTADOS COMO FERTILIZANTES COMERCIALES.

LA FUNCIÓN PRINCIPAL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA ES ABASTECER DE NUTRIENTES MINERALES A LAS PLANTAS CULTIVADAS QUE PERMITA LA MAXIMA TOMA DE IONES POR LA PLANTA.

PARA QUE ESTO SUCEDA SE TIENEN QUE DAR ESTAS CONDICIONES:

1. EN FORMA QUÍMICA
2. CONCENTRACIÓN IONICA
3. RELACIÓN MUTUA DE IONES

CARÁCTERÍSTICAS QUE DEFINEN A UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA

- 1. pH**
- 2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**
- 3. LA CONCENTRACIÓN DE CADA IÓN Y LA INTENSIDAD IÓNICA TOTAL EN TERMINOS DE PRESIÓN OSMÓTICA**
- 4. RELACIÓN MUTUA DE ANIONES Y CATIONES**

pH

EL pH ES UNA MEDIDA DE ACIDEZ O ALCALINIDAD DE UNA SOLUCIÓN Y SE REFIERE A LA CONCENTRACIÓN DE IONES HIDROGENO (H⁺)

EL pH TIENE UN EFECTO FUNDAMENTAL EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, YA QUE DETERMINA LA FORMA QUÍMICA DE LOS IONES EN EL AGUA

LOS IONES MÁS AFECTADOS SON:

- 1. CARBONATOS Y BICARBONATOS**
- 2. LOS FOSFATOS**
- 3. EL FIERRO**
- 4. EL MANGANESO**

EL pH ÓPTIMO DE UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA, ES AQUEL DONDE LOS IONES SE ENCUENTRAN EN UNA FORMA QUÍMICA QUE PERMITA SU MAXIMA ABSORCIÓN

LA MAYORÍA DE LOS AUTORES Y ESPECIALISTAS LO SITUAN EN : pH DE 5.5 A 6.5

| | | |
|--|---------------------------------|---|
| <p>EXCESO Manganeso (Mn) Fierro (Fe), Boro (B) Cobre (Cu), Zinc (Zn) Sodio (Na) Nitrógeno (NH₄)</p> | <p>Alta Disponibilidad</p> | <p>EXCESO Calcio (Ca) Nitrógeno (NH₄)</p> |
| <p>DEFICIENCIA Calcio (Ca) Magnesio (Mg) Fósforo (P), Potasio (K) Azufre (S) Molibdeno (Mo)</p> | | <p>DEFICIENCIA Fósforo (P) Manganeso (Mn) Fierro (Fe), Boro (B) Cobre (Cu), Zinc (Zn) Magnesio (Mg)</p> |
| <p>Rango de pH 5.5 6.5</p> | | |

FUENTE: Castellanos Z., J. y Vargas T., P. 2003. El Uso de Sustratos en la Horticultura bajo Invernadero. En: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Muñoz R., J.J. y J.Z. Castellanos (Eds.).

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

- ✓ LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ES UNA MEDIDA INDIRECTA PARA MEDIR LA SALES EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA O EN EL SUELO.
- ✓ VARIOS DE LOS IONES UTILIZADOS COMO NUTRIENTES SON SALES, POR EJEMPLO, Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}
- ✓ SE UTILIZAN DIFERENTES UNIDADES DE MEDIDA, POR EJEMPLO: dSm^{-1} , mS cm^{-1} , mmhos cm^{-1}
- ✓ TODAS ESTAS MEDIDAS SON EQUIVALENTES Y VAN DE 0 EN AGUA DESTILADA, HASTA MÁS DE 60 EN AGUA DE MAR
- ✓ LAS PLANTAS CULTIVADAS TIENEN CE ÓPTIMAS DE ACUERDO A LA ESPECIE Y A LA ETAPA DE CRECIMIENTO. PERO GENERALMENTE SIEMPRE ES MENOS DE 3

LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ES UNA MEDIDA DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE SALES EN UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA, POR LO QUE NO SE CONOCEN LOS IONES PRESENTES, NI LA CONCENTRACIÓN EN QUE ESTOS SE ENCUENTRAN.

REDUCCION DEL RENDIMIENTO DEBIDO AL EFECTO DE LA SALINIDAD

| Cultivo | 0% | | | 10% | | | 25% | | | 50% | | | CEs Máxima |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------|
| | CEs | CEa | L | |
| Tomate | 2.5 | 1.7 | 7% | 3.5 | 2.3 | 9% | 5.0 | 3.4 | 14% | 7.6 | 5.0 | 20% | 12.5 |
| Brócoli | 2.8 | 1.9 | 7% | 3.9 | 2.6 | 10% | 5.5 | 3.7 | 14% | 8.2 | 5.5 | 20% | 13.5 |
| Melón | 2.2 | 1.5 | 5% | 3.6 | 2.4 | 8% | 5.7 | 3.8 | 12% | 9.1 | 6.1 | 19% | 16.0 |
| Pepino | 2.5 | 1.7 | 8% | 3.3 | 2.2 | 11% | 4.4 | 2.9 | 14% | 6.3 | 4.2 | 21% | 10.0 |
| Papa | 1.7 | 1.1 | 6% | 2.5 | 1.7 | 9% | 3.8 | 2.5 | 13% | 5.9 | 3.9 | 20% | 10.0 |
| Espinaca | 2.0 | 1.3 | 4% | 3.3 | 2.2 | 7% | 5.3 | 3.5 | 12% | 8.6 | 5.7 | 19% | 15.0 |
| Pimiento | 1.5 | 1.0 | 6% | 2.2 | 1.5 | 9% | 3.3 | 2.2 | 13% | 5.1 | 3.4 | 20% | 8.5 |
| Lechuga | 1.3 | 0.9 | 5% | 2.1 | 1.4 | 8% | 3.2 | 2.1 | 12% | 5.2 | 3.4 | 19% | 9.0 |
| Cebolla | 1.2 | 0.7 | 4% | 1.7 | 1.1 | 7% | 2.8 | 1.8 | 12% | 4.3 | 2.9 | 19% | 7.5 |
| Zanahoria | 1.0 | 0.7 | 4% | 1.7 | 1.1 | 7% | 2.8 | 1.9 | 12% | 4.6 | 3.1 | 19% | 8.0 |
| Algodón | 7.7 | 5.1 | 9% | 9.6 | 6.4 | 12% | 13 | 8.4 | 16% | 17 | 12 | 22% | 27.0 |
| Cebada | 8.0 | 5.3 | 9% | 10 | 6.7 | 12% | 13 | 8.7 | 16% | 18 | 12 | 21% | 28.0 |
| Trigo | 6.0 | 4.0 | 10% | 7.4 | 4.9 | 12% | 9.5 | 6.4 | 16% | 13 | 8.7 | 22% | 20.0 |
| Soya | 5.0 | 3.3 | 16% | 5.5 | 3.7 | 18% | 6.2 | 4.2 | 21% | 7.5 | 5.0 | 25% | 10.0 |
| Sorgo | 4.0 | 2.7 | 8% | 5.1 | 3.4 | 9% | 7.2 | 4.8 | 13% | 7.2 | 4.8 | 21 % | 11.5 |
| Maíz | 1.7 | 1.1 | 6% | 2.5 | 1.7 | 8% | 3.8 | 2.5 | 12% | 5.9 | 3.9 | 20% | 10.0 |
| Frijol | 1.0 | 0.7 | 5% | 1.5 | 1.0 | 8% | 2.3 | 1.5 | 12% | 3.6 | 2.4 | 18% | 6.5 |

CEs (conductividad eléctrica del suelo saturado expresada en dS/m a 25oC)

CEa (conductividad eléctrica del agua de irrigación a 25oC)

L (requerimientos de lavado en % de la evapotranspiración)

CEs máxima (conductividad eléctrica del suelo saturado en dS/m a cuyo grado cesa el crecimiento de la planta)

SOLUCIÓN NUTRITIVA BALANCEADA

CARÁCTERÍSTICAS DE UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA BALANCEADA:

- 1. pH**
- 2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)**
- 3. LA CONCENTRACIÓN DE CADA ION Y LA INTENSIDAD IONICA TOTAL EN TERMINOS DE PRESION OSMÓTICA**
- 4. RELACIÓN MUTUA DE IONES (ANIONES (-) Y CATIONES (+))**
- 5. LA CONCENTRACIÓN DE IONES PUEDE SER DIFERENTE A LA CALCULADA SI LA CANTIDAD DE IONES Y LA CONCENTRACIÓN ES ALTA.**
- 6. LAS PLANTAS PRESENTAN DIFERENTE SELECTIVIDAD IONICA**
- 7. LAS PLANTAS PRESENTAS DIFERENTES DEMANDAS NUTRICIONALES, DEPENDIENDO DE LA ETAPA FENOLÓGICA (CRECIMIENTO)**

LOS IONES

UN ION ES UN ATOMO O MOLECULA DE UNO O MÁS ELEMENTOS CON UNA CARGA ELÉCTRICA.

HAY CATIONES, QUE TIENEN CARGA POSITIVA (+)

HAY ANIONES QUE TIENEN CARGA NEGATIVA (-)

IONES DE MACRONUTRIENTES UTILIZADOS EN LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS

ANIONES (-)

NO_3^- NITRATO

SO_4^{-2} SULFATO

H_2PO_4^- FOSFATO

CATIONES (+)

Ca^{2+} CALCIO

K^+ POTASIO

Mg^{2+} MAGNESIO

CONCENTRACIÓN MUTUA DE ANIONES Y CATIONES PROPUESTA POR STEINER (1961)

ANIONES (-)

NO_3^- NITRATO 60%

H_2PO_4^- FOSFATO 05%

SO_4^{-2} SULFATO 35%

CATIONES (+)

Ca^{2+} CALCIO 40%

K^+ POTASIO 35%

Mg^{2+} MAGNESIO 25%

Esta metodología es una de las más utilizadas para saber la concentración de cada nutrimento en una solución nutritiva

UNIDADES DE CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN

1. ppm o mg/l. PARTES POR MILLON O MILIGRAMOS POR LITRO
2. MMOL/LT. MILIMOLES POR LITRO
3. MEQ/LT. MILIEEQUIVALENTES POR LITRO

| Ion | mmol L ⁻¹ | mg L ⁻¹ ó g m ₋₃ | meq L ⁻¹ |
|---|----------------------|--|---------------------|
| NO ₃ ⁻ | 1 | 62.0 | 1 |
| H ₂ PO ₄ ⁻ | 1 | 97.0 | 1 |
| K ⁺ | 1 | 39.1 | 1 |
| Ca ⁺² | 1 | 40.1 | 2 |
| Mg ⁺² | 1 | 24.3 | 2 |
| SO ₄ ⁻² | 1 | 96.1 | 2 |
| Na ⁺ | 1 | 23.0 | 1 |
| Cl ⁻ | 1 | 35.4 | 1 |
| HCO ₃ ⁻ | 1 | 61.0 | 1 |

1 mmol de Ca(NO₃)₂ aporta 1 mmol de Ca⁺² y 2 mmol de NO₃⁻

1 mmol de K₂SO₄ aporta 2 mmol de K⁺ y 1 mmol de SO₄⁻²

FUENTE: Castellanos Z., J. y Vargas T., P. 2003. *El Uso de Sustratos en la Horticultura bajo Invernadero. En: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Muñoz R., J.J. y J.Z. Castellanos (Eds.).*

CALCULO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA IDEAL

1. CONTAR CON LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA QUE SE VA A UTILIZAR.
2. DEFINIR LA CE DESEADA CON LA QUE SE VA A TRABAJAR.
3. CALCULAR LA CONCENTRACIÓN DE SALES DE LA SOLUCIÓN.
4. CALCULAR LA CONCENTRACIÓN TEORICA DE CADA UNO DE LOS ANIONES (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}) SEGÚN LA PROPORCIÓN MUTUA DE ANIONES PROPUESTA POR STEINER (60:05:35) RESPECTIVAMENTE.
5. CALCULAR LA CONCENTRACIÓN TEORICA DE CADA UNO DE LOS CATIONES (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) SEGUN LA PROPORCIÓN MUTUA DE CATIONES PROPUESTA POR STEINER (40:35:25) RESPECTIVAMENTE.
6. RESTAR DE LA CONCENTRACIÓN TEÓRICA DE ANIONES Y CATIONES, LA CONCENTRACIÓN DE LOS MISMOS PRESENTES EM EL AGUA DE RIEGO.
7. CALCULAR DE ACUERDO A LOS FERTILIZANTES DISPONIBLES CON SUS RESPECTIVOS PESO MOLECULARES Y/O EQUIVALENTES PARA OBTENER LA SOLUCIÓN DESEADA.

EJEMPLO DE CALCULO DE UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA

1. ANALISIS DEL AGUA DE RIEGO

| ANIONES meq l ⁻¹ | | CATIONES meq l ⁻¹ | |
|-----------------------------|------|------------------------------|------|
| Nitratos | 0.07 | Calcio | 2.10 |
| Fosfatos | 0.0 | Potasio | 0.49 |
| Sulfatos | 0.9 | Magnesio | 1.89 |
| Carbonatos | 0.0 | Sodio | 4.39 |
| Bicarbonatos | 6.0 | | |
| Cloruros | 2.2 | | |
| SUMA | 9.17 | SUMA | 8.87 |

pH: 7.49

CE: 0.87

2. DEFINIR LA CE DESEADA

PARA UN CULTIVO DE JITOMATE EN ETAPA DE FLORACIÓN, CON SUSTRATO DE TEZONTLE. UNA CE DE 2.0

3. CALCULO DE LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE SALES.

$$C = CE \times 10$$

$$C = 2.0 \times 10$$

$$C = 20$$

Se multiplica por 10, porque una salinidad de x valor es 10 veces representado en meq/l (concentración total de sales)

4. CALCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ANIONES

| ANIONES | CONCENTRACIÓN | % STEINER | meq l⁻¹ |
|----------------|----------------------|------------------|---------------------------|
| NITRATOS | 20.0 | 60 | 12.0 |
| FOSFATOS | 20.0 | 05 | 1.0 |
| SULFATOS | 20.0 | 35 | 7.0 |

De acuerdo a al metodología de Steiner, se obtiene el valor en meq/l de cada uno de los aniones de acuerdo a su porcentaje de absorción

5. CALCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE CATIONES

| CATIONES | CONCENTRACIÓN | % STEINER | meq l ⁻¹ |
|----------|---------------|-----------|---------------------|
| CALCIO | 20.0 | 40 | 8.0 |
| POTASIO | 20.0 | 35 | 7.0 |
| MAGNESIO | 20.0 | 25 | 5.0 |

El mismo procedimiento se hace para los cationes

6. CALCULO DE CONCENTRACIONES REALES DE ANIONES

| ANIONES | meq l⁻¹ | AGUA | APORTE |
|-----------------|---------------------------|-------------|---------------|
| NITRATOS | 12.0 | 0.07 | 11.93 |
| FOSFATOS | 1.0 | 0.0 | 1.0 |
| SULFATOS | 7.0 | 0.9 | 6.1 |

Se resta lo que aporta el agua y lo hay que agregar

7. CALCULO DE CONCENTRACIONES REALES DE ANIONES

| CATIONES | meq l⁻¹ | AGUA | APORTE |
|-----------------|---------------------------|-------------|---------------|
| CALCIO | 8.0 | 2.10 | 5.9 |
| POTASIO | 7.0 | 0.49 | 6.51 |
| MAGNESIO | 5.0 | 1.89 | 3.11 |

Lo mismo se hace para los cationes

8. INICIAR EL PROCESO DE CALCULO DE FERTILIZANTES CON UNA HOJA DE DOBLE ENTRADA

ANIONES

CATIONES

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | | | | | | | | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | | | | | | | | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | | | | | | | | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO ₃ | | | | | | | | | 101 | 101 | |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H ₃ PO ₄ | | | | | | | | | 98 | 98* | |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H ₂ SO ₄ | | | | | | | | | 68 | 68*** | |
| Ca(NO ₃) ₂ | | | | | | | | | 236 | 118 | |
| K ₂ SO ₄ | | | | | | | | | 174 | 87 | |
| MgSO ₄ | | | | | | | | | 246 | 123 | |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| SUMA | P.M. PESO MOLECULAR | | | | P. E. PESO EQUIVALENTE | | | | P.E. = P.M./ VALENCIA DEL ION | | |

Se coloca la fórmula, el análisis de agua y la solución nutritiva a calcular

| SOLUCION NUTRITIVA | NO_3^- | H_2PO_4^- | SO_4^- | HCO_3^- | Ca^{+2} | K^+ | Mg^{+2} | NH_4^* | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|------------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|------------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.89 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| NH_4NO_3 | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO_3 | | | | | | | | | 101 | 101 | |
| MgNO_3 | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H_3PO_4 | | | | | | | | | 98 | 98* | |
| HNO_3 | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H_2SO_4 | | | | | | | | | 68 | 68*** | |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | | | | | | | | | 236 | 118 | |
| K_2SO_4 | | | | | | | | | 174 | 87 | |
| MgSO_4 | | | | | | | | | 246 | 123 | |
| $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| | | | | | | | | | | | |
| SUMA | | | | | | | | | | | |
| DIFERENCIA | | | | | | | | | | | |

9. AJUSTAR PRIMERO EL CALCIO

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------|------|------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.89 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO ₃ | | | | | | | | | 101 | 101 | |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H ₃ PO ₄ | | | | | | | | | 98 | 98* | |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H ₂ SO ₄ | | | | | | | | | 68 | 68** | |
| | | | | | | | | | | * | |
| Ca(NO ₃) ₂ | 5.90 | | | | 5.90 | | | | 236 | 118 | |
| K ₂ SO ₄ | | | | | | | | | 174 | 87 | |
| MgSO ₄ | | | | | | | | | 246 | 123 | |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| | | | | | | | | | | | |
| SUMA | | | | | | | | | | | |
| DIFERENCIA | | | | | | | | | | | |

10. NEUTRALIZAR BICARBONATOS HC03-

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------|------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.89 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.61 | 3.11 | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO ₃ | | | | | | | | | 101 | 101 | |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H ₃ PO ₄ | | 1.0 | | 1.0 | | | | | 98 | 98* | |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H ₂ SO ₄ | | | 4.5 | 4.5 | | | | | 68 | 68*** | |
| Ca(NO ₃) ₂ | 5.90 | | | | 5.90 | | | | 236 | 118 | |
| K ₂ SO ₄ | | | | | | | | | 174 | 87 | |
| MgSO ₄ | | | | | | | | | 246 | 123 | |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| SUMA | | | | | | | | | | | |
| DIFERENCIA | | | | | | | | | | | |

11. COMPLEMENTAR LOS MACROELEMENTOS INICIANDO CON N03-

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------|------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.99 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO ₃ | 6.03 | | | | | 6.03 | | | 101 | 101 | |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H ₃ PO ₄ | | 1.0 | | 1.0 | | | | | 98 | 98* | |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H ₂ SO ₄ | | | 4.5 | 4.5 | | | | | 68 | 68*** | |
| Ca(NO ₃) ₂ | 5.90 | | | | 5.90 | | | | 236 | 118 | |
| K ₂ SO ₄ | | | 0.48 | | | 0.48 | | | 174 | 87 | |
| MgSO ₄ | | | 3.11 | | | | 3.11 | | 246 | 123 | |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| SUMA | 11.93 | 1.0 | 8.09 | 5.5 | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| DIFERENCIA | | | -1.99 | | | | | | | | |

**12. CALCULAR CANTIDAD DE FERTILIZANTES EXPRESADO EN
gramos/m³ O mg/l**

**PARA ELLO SE MULTIPLICAN LOS meq l⁻¹ DEL NUTRIENTE
POR EL P.E. DEL FERTILIZANTE**

EJEMPLO:

KNO₃ P.E.= 101

NO₃= 6.03, K= 6.03

CANTIDAD DE FERTILIZANTE g/m³ = (6.03)(101)=609.03

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------|------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.9 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| KNO ₃ | 6.03 | | | | | 6.03 | | | 101 | 101 | 609.03 |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| H ₃ PO ₄ | | 1.0 | | 1.0 | | | | | 98 | 98* | 98 |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| H ₂ SO ₄ | | | 4.5 | 4.5 | | | | | 68 | 68*** | 306 |
| Ca(NO ₃) ₂ | 5.90 | | | | 5.90 | | | | 236 | 118 | 696.20 |
| K ₂ SO ₄ | | | 0.48 | | | 0.48 | | | 174 | 87 | 41.76 |
| MgSO ₄ | | | 3.11 | | | | 3.11 | | 246 | 123 | 382.53 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| SUMA | 11.93 | 1.0 | 8.09 | 5.5 | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| DIFERENCIA | | | -1.99 | | | | | | | | |

13. CONVERTIR LOS gramos O miligramos DE ÁCIDO FOSFORICO Y ACIDO SULFURICO A ml (mililitros)

ÁCIDO FOSFÓRICO

***Se convierte primero a ml con una densidad de 1.6 g/ml y luego a un 100%, ya que el ácido fosfórico comercial viene al 85%**

ÁCIDO NITRICO

**** Se convierte primero a ml con una densidad de 1.4 g/ml y luego a un 100%, ya que el ácido nítrico viene al 60%**

ÁCIDO SULFURICO

***** Se convierte primero a ml con una densidad de 1.85 g/ml y luego al 100%, ya que el ácido sulfúrico viene al 98%**

14.CALCULAR ml DE ÁCIDO FOSFORICO

1.6 g ----- 1.0 ml

98.0 g ----- x ml = 61.25 ml

61.25 ml ----- 85 %

x ml ----- 100% = 72.05 ml

SE NECESITAN 72.05 ml DE ÁCIDO FOSFORICO

15. CALCULAR ml DE ÁCIDO SULFURICO

1.85 g ----- 1.0 ml

306 g ----- x ml = 165.40 ml

165.40 ml ----- 98 %

x ml ----- 100% = 168.77 ml

SE NECESITAN 168.77 ml DE ÁCIDO SULFURICO

16. CALCULOS FINALES, PESAR Y/O MEDIR LOS FERTILIZANTES

Se llena toda la tabla y se calcula la cantidad de todos los fertilizantes

| SOLUCION NUTRITIVA | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺² | K ⁺ | Mg ⁺² | NH ₄ [*] | P.M. | P.E. | FERTILIZANTE GR/M ³ |
|--|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------------------|------|-------|--------------------------------|
| FORMULA (meq/lit) | 12.0 | 1.0 | 7.0 | 0.5 | 8.0 | 7.0 | 5.0 | | | | |
| ANALISIS DE AGUA (meq/lit) | 0.07 | 0.0 | 0.9 | 6.0 | 2.10 | 0.49 | 1.9 | | | | |
| SOL. NUTRITIVA | 11.93 | 1.0 | 6.1 | (5.5) | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| NH ₄ NO ₃ | | | | | | | | | 80 | 80 | |
| (4) KNO ₃ | 6.03 | | | | | 6.03 | | | 101 | 101 | 609.03 |
| MgNO ₃ | | | | | | | | | 256 | 128 | |
| (1) H ₃ PO ₄ | | 1.0 | | 1.0 | | | | | 98 | 98* | 98 (72.06 ml) |
| HNO ₃ | | | | | | | | | 63 | 63** | |
| (2) H ₂ SO ₄ | | | 4.5 | 4.5 | | | | | 68 | 68*** | 306 (168.77 ml) |
| (6) Ca(NO ₃) ₂ | 5.90 | | | | 5.90 | | | | 236 | 118 | 696.20 |
| (3) K ₂ SO ₄ | | | 0.48 | | | 0.48 | | | 174 | 87 | 41.76 |
| (5) MgSO ₄ | | | 3.11 | | | | 3.11 | | 246 | 123 | 382.53 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | | | | | | | | | 115 | 115 | |
| | | | | | | | | | | | |
| SUMA | 11.93 | 1.0 | 8.09 | 5.5 | 5.90 | 6.51 | 3.11 | | | | |
| DIFERENCIA | | | -1.99 | | | | | | | | |

ELEGIR EL ORDEN DE PREPARACIÓN DE ACUERDO A LA SOLUBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES

| Fertilizante | Fórmula | Riqueza (%) | Peso molecular | Efecto sobre la acidez | Solubilidad (g/L) |
|----------------------|---|---------------|----------------|------------------------|-------------------|
| Ácido nítrico | HNO ₃ | 22 N | 63.0 | Muy ácido | Soluble |
| Ácido fosfórico | H ₃ PO ₄ | 32 P | 98.0 | Muy ácido | 5480 |
| Nitrato cálcico | Ca(NO ₃) ₂ | 15.5 N, 19 Ca | 236.0 | Básico | 1020 |
| Nitrato potásico | KNO ₃ | 13 N, 38 K | 101.1 | Básico | 130 |
| Nitrato amónico | NH ₄ NO ₃ | 35 N | 80.0 | Ácido | 1180 |
| Nitrato magnésico | Mg(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O | 11 N, 9 Mg | 256.3 | Neutral | 420 |
| Fosfato monopotásico | KH ₂ PO ₄ | 23 P, 28 K | 136.1 | Básico | 330 |
| Fosfato monoamónico | NH ₄ H ₂ PO ₄ | 12 N, 27 P | 115.0 | Ácido | 230 |
| Sulfato potásico | K ₂ SO ₄ | 45 K, 18 S | 174.3 | Neutral | 70 |
| Sulfato magnésico | MgSO ₄ · 7 H ₂ O | 10 Mg, 13 S | 246.3 | Neutral | 710 |
| Sulfato de amonio | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 20 N, 24 S | 132.0 | Muy ácido | 710 |
| Sulfato de manganeso | MnSO ₄ · H ₂ O | 32 Mn | 169.0 | | |
| Sulfato de zinc | ZnSO ₄ · 7H ₂ O | 23 Zn | 287.5 | | |
| Bórax | Na ₂ B ₄ O ₇ · 10 H ₂ O | 11 B | 381.2 | | |
| Sulfato de cobre | CuSO ₄ · 5 H ₂ O | 25 Cu | 249.7 | | |
| Molibdato amónico | (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ | 58 Mo | 1163.3 | | |
| Molibdato sódico | Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O | 40 Mo | 241.9 | | |
| Quelato de hierro | Fe-EDTA | 13 Fe | (430) | | |
| Quelato de hierro | Fe-DTPA | 9 Fe | (621) | | |
| Quelato de hierro | Fe-DTPA | 7 Fe | (799) | | |
| Quelato de hierro | Fe-DTPA | 6 Fe | (932) | | |
| Quelato de hierro | Fe-EDDHA | 5 Fe | (1118) | | |
| Quelato de hierro | Fe-EDDHA | 6 Fe | (932) | | |
| Bicarbonato potásico | KHCO ₃ | 39 K | 100.1 | | |
| Hidróxido cálcico | Ca(OH) ₂ | 54 Ca | 74.1 | Básico | 0+ |

17. Aplicación de fertilizantes.

Una vez que se han calculado la cantidad de fertilizante por cada 1000 litros, se extrapola a la cantidad de agua a utilizar.

a) Pesar los fertilizantes.

b) Llenar el tanque con agua a la cantidad deseada.

c) Bajar el pH a 6.5 aproximadamente con los ácidos correspondientes.

Disolver individualmente cada fertilizante del menos soluble al más soluble.

e) Agregar primero los macronutrientes y luego los micronutrientes (puede hacerse a la inversa).

f) Comprobar nuevamente el pH.

18. CALCULO DE MICROELEMENTOS

LOS MICROELEMENTOS COMO SU NOMBRE LO INDICA SE APLICAN EN CANTIDADES MUY PEQUEÑAS.

ES IMPORTANTE CONOCER LOS mg/l (miligramos por litro) QUE SE VAN APLICAR DE CADA MICROELEMENTO (columna a de cuadro de calculo de microelementos)

SE BUSCAN LOS FERTILIZANTES QUE CONTIENEN MICROELEMENTOS

SE CHECA LA CONCENTRACIÓN A LA QUE VIENE CADA MICROELEMENTO (columna b de cuadro de calculo de microelementos).

SE MULTIPLICAN LA COLUMNA AxB PARA OBTENER COLUMNA C QUE INDICA LA CANTIDAD DEL FERTILIZANTE A APLICAR EN g/m^3

Checar el siguiente cuadro de cálculo. En la columna A viene la concentración que necesito de microelementos, en la columna B la concentración de microelemento en el fertilizante, en la columna C, la cantidad que necesito aplicar g/m^3)

CUADRO DE CÁLCULO DE MICROELEMENTOS

| CALCULO DE MICROELEMENTOS | | | | |
|---------------------------|--|------|--------|------------------|
| ION | FERTILIZANTE | A | B | C |
| | | mg/L | | g/m ³ |
| | | | | (AxB) |
| Fe | Quelato de hierro (5% Fe-EDDHA) | 0.55 | 100/05 | 11 |
| Mn | Sulfato de manganeso (MnSO ₄ :H ₂ O, 32% Mn) | 0.55 | 100/32 | 1.7 |
| Cu | Sulfato de cobre (CuSO ₄ :5H ₂ O, 25% Cu) | 0.03 | 100/25 | 0.12 |
| Zn | Sulfato de zinc (ZnSO ₄ :7H ₂ O, 23% Zn) | 0.25 | 100/23 | 1.09 |
| B | Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ :10H ₂ O, 11% B) | 0.2 | 100/11 | 1.82 |
| Mo | Molibdato sódico (Na ₂ MoO ₄ :2H ₂ O, 40% Mo) | 0.05 | 100/40 | 0.12 |

FUENTE: Muñoz y Castellanos (2003). Capítulo 9. Formulación de la Solución Nutritiva. Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Muñoz R., J. J. y Javier Z. Castellanos.

Concentración recomendada (en ppm) de micronutrientos en la solución nutritiva (Fernández y Camacho, 2008)

| Micronutriente | Concentración (ppm) (mg/l) |
|----------------|-------------------------------|
| Fe (hierro) | 1.5 |
| Mn (manganeso) | 0.8 |
| Zn (zinc) | 0.3 |
| Cu (Cobre) | 0.06 |
| B (boro) | 0.4 |
| Mo (molibdeno) | 0.06 |

Fuente: Castellanos, J.Z. Y Ojodeagua, J.L. Capítulo 6. Formulación de la solución Nutritiva. Manual de Producción de Jitomate en Invernadero (2009). Castellanos, J.Z. (Editor). INTAGRI. Celaya, Guanajuato.

TAMBIEN PUEDEN UTILIZARSE ALGUNAS OTRAS RECOMEDACIONES DE OTROS AUTORES (por ejemplo la de Fernández y Camacho 2008).

En este caso sólo sustituir las concentraciones y realizar el mismo procedimiento de cálculo

| CALCULO DE MICROELEMENTOS | | | | |
|----------------------------------|---|-------------|---------------|------------------------|
| ION | FERTILIZANTE | A | B | C |
| | | mg/L | | g/m³ |
| | | | | (AxB) |
| Fe | Quelato de hierro (5% Fe-EDDHA) | 1.55 | 100/05 | 31 |
| Mn | Sulfato de manganeso (MnSO₄:H₂O, 32% Mn) | 0.8 | 100/32 | 2.5 |
| Cu | Sulfato de cobre (CuSO₄:5H₂O, 25% Cu) | 0.06 | 100/25 | 0.24 |
| Zn | Sulfato de zinc (ZnSO₄:7H₂O, 23% Zn) | 0.3 | 100/23 | 1.30 |
| B | Bórax (Na₂B₄O₇:10H₂O, 11% B) | 0.4 | 100/11 | 3.6 |
| Mo | Molibdato sódico (Na₂MoO₄:2H₂O, 40% Mo) | 0.06 | 100/40 | 0.15 |

TAMBIEN OTRA FORMA DE TRABAJAR LOS MICROELEMENTOS ES UTILIZANDO UN COMPLEJO DE FERTILIZANTES

VARIAS EMPRESAS COMERCIALES YA TIENEN ALGUNOS QUE SE RECOMIENDAN PARA DILUIR EN CIERTA CANTIDAD DE AGUA

VIENEN A UNA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LO QUE SE REQUIERE DE CADA MICRONUTRIMENTO

A continuación algunos ejemplos de ellos y las dosis a aplicar

A. KELATEX-MULTI (COSMOCEL 40-50 g/m³)

B. HAIFA MULTI-MICRO PARA CULTIVO HIDROPONICO
25-30 g/m³, adicionar Boro, ya que no lo incluye, 2.4 g/m³

C. TRADECORP 25 a 30 g/m³