



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



# **MANUAL DE MANEJO DEL RIEGO POR GOTEO, FERTILIZACIÓN, CALCULO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS Y PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE E INYECCION DE FERTILIZANTES**

**ELABORO:**

**Mtro. Eugenio Cedillo Portugal**

**Ing. José Antonio Ávila García**

**“Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM DGPA PAPIME” Clave:  
PE203116**

**Abril de 2019**

## INDICE

	Página
1. El riego y la fertilización	3
2. El concepto de riego agrícola	3
3. El riego por goteo	3
3.1 Componentes de un sistema de riego por goteo	3
4. Operación y Mantenimiento básico	6
4.1 Filtros	6
4.2 Tuberías secundarias y cintas de riego	6
4.3 Goteros, múltiples de 4 salidas, estacas y microtubos	7
4.4 Labores previas al inicio de cultivo	8
4.5 Cálculo de agua de riego	8
5. Fertilización	9
5.1 formulación de la solución nutritiva	11
5.2 Unidades de concentración de la solución	11
5.3 Cálculo de la solución nutritiva	13
5.4 Aplicación de fertilizantes	15
6. Preparación de soluciones madres e inyección de fertilizantes	16
6.1 Solución madre	17
6.2 Cálculo de soluciones nutritivas madre	17
6.3 Inyección de fertilizantes	19
6.4 mantenimiento del sistema de inyección	22
Bibliografía	23

# **MANUAL DE MANEJO DEL RIEGO POR GOTEO, FERTILIZACIÓN, CALCULO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS, PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE E INYECCIÓN DE FERTILIZANTES**

## **1. EL RIEGO Y LA FERTILIZACIÓN**

El Centro de Prácticas Productivas de la Licenciatura en Planificación para el Desarrollo Agropecuario cuenta con cuatro invernaderos de producción con sistema de riego por goteo localizado y por cintilla, utilizado para la producción de cultivos de ciclo corto (anuales) como hortalizas y flores de corte. En el sistema de riego se aplican los fertilizantes necesarios para la nutrición de las plantas cultivadas de acuerdo a la calidad del agua y la velocidad de crecimiento.

Para ello, es importante que los alumnos y profesores, conozcan los principios básicos para la operación del sistema de riego y la forma para calcular y aplicar los fertilizantes en dicha agua.

## **2. CONCEPTO DE RIEGO AGRÍCOLA**

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo o sustrato para reponer en éste, el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos. Los sistemas de riego pueden ser de 4 tipos: riego por gravedad, riego por aspersión, riego por micro aspersión y riego por goteo, este último es el más eficiente de todos, ya que el agua llega a las plantas cultivadas en cintillas de plástico o goteros con estacas, que distribuyen el agua gota a gota cerca de las zonas de raíces de las plantas.

## **3. EL RIEGO POR GOTEO.**

Este método de riego es también conocido como riego localizado, consiste en distribuir el agua generalmente ya filtrada y con fertilizantes a las plantas sobre o dentro del suelo, de esta manera el agua llega directamente a la zona de raíces de las plantas cultivadas gota a gota. La distribución se realiza por una red de tuberías generalmente de plástico, ya sea de polietileno o PVC hidráulico en las líneas principales, en las líneas laterales se realiza con tubería flexible o rígida de polietileno. La entrega de agua a las plantas se hace mediante perforaciones o boquillas llamadas emisores o goteros, aunque también los goteros y emisores pueden ser independientes de la tubería, para lo cual se requieren implementos adicionales como múltiples de cuatro salidas, tubo de polietileno delgado (micro tubo) y estacas de plástico.

El sistema de riego por goteo permite una difusión diferencial y tridimensional del agua (en forma de bulbo), manteniendo bajo los niveles de tensión de humedad, favoreciendo de esta forma el desarrollo de los cultivos.

### **3.1 Componentes de un sistema de riego por goteo.**

Un sistema de riego por goteo, consta de varias componentes para hacer la distribución del agua más uniforme y eficiente, para ello, consta de los siguientes componentes:

a) Un sistema de control central o cabezal de riego, que incluye una bomba de agua, filtros, válvulas reguladoras de presión y flujo, manómetros, mecanismos de control automático y un equipo de inyección de fertilizantes y plaguicidas. En el Centro de Prácticas se cuenta únicamente con tinacos de 2,500 litros (l) y 1,000 l, filtros de malla y discos de 1" (pulgada), válvulas de aire y controladores de riego. El sistema de control automático consta de un timer (controlador), relevadores que van

conectadas a las bombas de riego y válvulas solenoides que de acuerdo a la programación deseada riegan de una forma periódica a diferentes intervalos durante el día.

b) Una línea principal de distribución que conduce el agua del sistema central, a la zona de cultivo (tubería de polietileno o PVC).

c) Una red secundaria que cubre el área de cultivo (tubería de polietileno o PVC).

d) Líneas laterales que corren a lo largo del surco, que es donde se descarga el agua, generalmente polietileno suave de 16 o 17 milímetros (mm).

e) Goteros o emisores que pueden ir incluidos en las líneas laterales o ser independientes, ya sea goteros localizados o cintas de riego.



Figura 1. Sistema central de riego

f) Accesorios diversos como coples, tees, codos, uniones, múltiples, estacas y tubo de polietileno delgado (microtubo, tubín, espagueti, etc.)

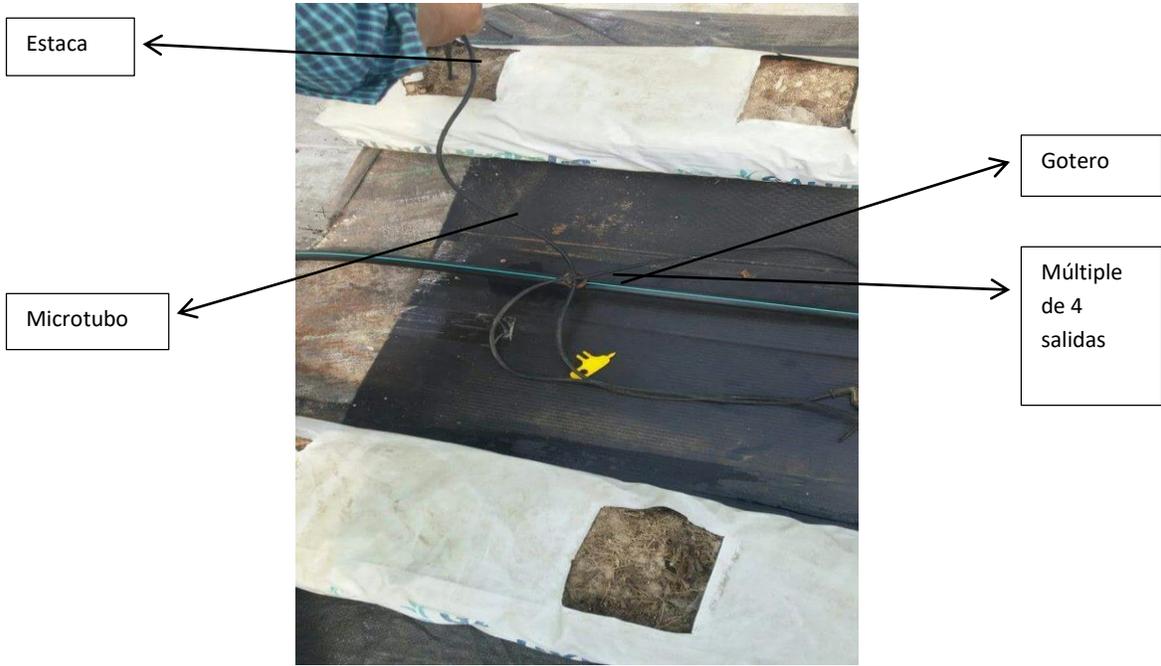


Figura 2. Riego por goteo localizado y componentes



Figura 3. Cinta de riego



Figura 4. Controlador de riego por secciones



Figura 5. Relevadores que accionan las bombas de agua

#### 4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO BÁSICO.

##### 4.1 Filtros.

El filtro de disco o malla puede quitarse de la instalación (Figura 6) y lavarse en una cubeta con agua limpia para quitar las impurezas del agua o los gránulos precipitados de los fertilizantes (Figura 7). Para ello, trae un sistema de colocación como si fuera una tuerca o tornillo y sólo hay que aflojar y sacar el filtro y sumergirlo en agua y agitar o cepillar de preferencia con un cepillo de dientes para eliminar todas las impurezas. Esta labor debe realizarse por lo menos dos veces por semana.



Figura 6. Filtro de disco



Figura 7. Lavado de filtro de disco

##### 4.2 Tuberías secundarias y cintas de riego

Las tuberías secundarias son aquellas que corren en medio de las líneas de plantas y tienen insertados los goteros que riegan a las plantas. Estas líneas secundarias deberán purgarse por lo menos una vez cada 15 días, de preferencia cuando el agua no tiene fertilizante para no desperdiciar a éstos. Para ello, en los extremos finales de estas tuberías se quita un accesorio llamado “finales” para que el agua fluya hacia fuera de la tubería (Figura 8). Se deja unos segundos, hasta que el agua sale completamente limpia y se vuelve a colocar el accesorio (Figura 9). El propósito de esta actividad es mantener limpio el sistema principal y secundario de riego. Esta actividad es muy

parecida cuando se utilizan cintas de riego, en el extremo final de dichas cintas se deja fluir el agua hasta que salga limpia y posteriormente se cierran.



Figura 8. Línea secundaria con accesorio "final"



Figura 9. Limpieza de línea secundaria de riego

### 4.3 Goteros, múltiples de cuatro salidas, estacas y microtubos.

Los goteros, múltiples de cuatro salidas y los microtubos son los componentes básicos de un sistema de riego localizado, tienen orificios muy reducidos para el paso de agua gota a gota, por lo cual si no tienen un buen mantenimiento tienden a taparse rápidamente. Para ello, antes de iniciar cada ciclo de cultivo, se les hace circular agua con un pH ácido de 2.0 a 3.0. Para ello, en el tinaco se aplican 400 ml de ácido nítrico al 60% en 1000 litros de agua y se pone a circular para limpiar todo el riego localizado y eliminar acumulación de sales y otras partículas suspendidas en el sistema de riego. Para mejor control de la actividad, es importante contar con un aparato para la medición del pH y conductividad eléctrica (CE) (Figura 10). También durante el cultivo, es necesario limpiar las estacas de riego, para ello se utiliza un cepillo de dientes y se frota los canales de dicha estaca (Figura 11).



Figura 10. Medición de pH y CE



Figura 11. Limpieza de estacas de riego

#### 4.4 Labores previas al inicio de cultivo.

En virtud de que los contenedores (bolsas negras) y el sustrato (tezontle), o bien los bolis de fibra de coco se utilizan continuamente en la producción, al final de cada ciclo productivo quedan con una gran cantidad de sales que son necesarios eliminar. Para ello, se utiliza agua limpia a un pH de 6.0 para lavar el sustrato, se deja escurrir la bolsa y continuamente se monitorea el valor de la conductividad eléctrica (CE). Al principio se tienen CE'S muy altas (3.0 o dS/m), pero a medida que se sigue lavando, el valor de la CE va disminuyendo hasta llegar al valor que tiene un agua limpia (el agua de la FES Aragón tiene una CE de 1.5 dS/m). Entonces en ese momento, el sustrato está listo para recibir la nueva plántula. Esta actividad es muy importante, ya que, si llega a omitirse antes de cada inicio de cultivo, las plántulas nuevas pueden morir por un exceso de sales en el sustrato.

#### 4.5 Calculo de agua de riego

Una vez que está establecido el cultivo, es necesario saber la cantidad de agua a regar durante el día. En el sistema de cultivo del Centro de Prácticas productivas, se utilizan como sustrato, el tezontle fino y los bolis de fibra de coco. El tezontle tiene una gran porosidad, por lo cual no es conveniente realizar riegos pesados, ya que entonces el agua se filtrará rápidamente y en ciertas horas del día, la planta tendrá deshidrataciones. Por lo cual es conveniente en regar varias veces al día, además de entender que la máxima demanda de agua se tendrá en las horas de más altas temperaturas.

Para realizar esta actividad, primero se calcula y promedia el gasto de agua por cada estaca, para ello, se miden por lo menos en estacas distintas, el gasto de agua de cada una por minuto, se suman y promedian y tenemos el gasto por minuto de riego. Enseguida, se empieza a realizar el riego tratando de distribuir el agua a través de todo el día e incrementando el gasto en las horas de mayor temperatura. En por lo menos 6 bolsas de sustrato se coloca una tina de plástico para evitar el escurrimiento al suelo, mientras que, en otras dos bolsas, se mide el agua de entrada a las mismas poniendo un recipiente de plástico en las estacas. De esta manera conocemos la cantidad de agua que está llegando a las bolsas y, por otro lado, conocemos el agua que está escurriendo al suelo, una vez que ha mojado el sustrato (figuras 12 y 13).



Figura 12. Cálculo de agua de entrada y salida (drenaje)



Figura 13. Agua de entrada y drenaje de la bolsa

Esta actividad puede hacerse por riego o por día, aunque es más conveniente por riego, ya que el gasto puede variar dependiendo de las horas del día. Una vez que se conocen ambos valores (entrada de agua y salida) se aplica una regla de 3 para saber el porcentaje de escurrimiento. Por

ejemplo, si el riego es de 100 ml y el escurrimiento es de 20 ml, decimos que hay un 20% de drenaje. De hecho, lo ideal es tener un drenaje no mayor al 20% y no menor al 10%. Si existe mucho drenaje se desperdicia agua y fertilizante, porque la planta no alcanza a absorberlo. Si el drenaje es muy pequeño, es posible que falte agua y estemos incrementando la CE del sustrato que es nocivo para el crecimiento de la planta. De esta manera se hacen varias pruebas hasta encontrar el nivel deseado y una vez que se conoce el volumen óptimo, puede regularse el gasto con el valor del gasto por minuto. Esta es una labor que deberá hacerse continuamente, para encontrar los valores más adecuados de riego, tomando en cuenta, que estos datos van a variar dependiendo de la especie, inclusive de la variedad sembrada, la etapa de crecimiento y de valores ambientales como la temperatura y la humedad relativa.

En el caso de los bolis de fibra de fibra de coco, este sustrato ya viene caracterizado de fábrica, tiene una capacidad de retención de humedad del 44%, una porosidad total del 47% y el contenido de solidos (fibra y polvo de coco) es del 9%. De tal manera que cuando se riega, el boli se satura de agua y cuando empieza a escurrir por las aperturas que se le hacen en la parte baja del suelo, es momento de suspender el riego, calculando de manera similar a las bolsas de tezontle, el porcentaje de escurrimiento que se requiera, en este material, el drenaje no debe ser mayor al 10%.

## **5. FERTILIZACIÓN.**

La fertilización se refiere a la aplicación de sustancias de tipo químico u orgánica que contienen elementos nutritivos que nutren a las plantas cultivadas, esta puede aplicarse directamente al suelo antes o durante el cultivo y también mediante agua de riego. Cuando los fertilizantes se aplican en el agua de riego, estos se diluyen en proporciones que no afecten su solubilidad, a esta técnica se le llama fertirrigación. La fertirrigación es la técnica ocupada en los cultivos bajo invernadero que utilizan sistemas hidropónicos o cultivos sin suelo (con utilización de sustratos). Para obtener buenos resultados con esta técnica, es muy importante conocer los elementos nutritivos y su función en las plantas.

Los elementos nutritivos.

- 1) Carbono (C). El carbono forma el esqueleto de las moléculas orgánicas y por lo tanto la materia seca de las plantas.
- 2) Hidrógeno (H). El hidrógeno forma parte de numerosos compuestos necesarios para el crecimiento de las plantas.
- 3) Oxígeno (O). El oxígeno es necesario para la respiración de las células de las plantas. Junto con el hidrógeno forman el agua, que es el principal constituyente del peso fresco de las plantas.
- 4) Nitrógeno (N). El nitrógeno forma parte del protoplasma de las células y se utiliza en la síntesis de aminoácidos y proteínas. Así mismo forma parte de la clorofila y es la responsable del color verde y del crecimiento de las plantas.
- 5) Fósforo (P). El fósforo está presente en todas las células vivas de la planta y es utilizado para almacenar y transferir energía. Estimula el crecimiento de las primeras fases de desarrollo y la formación de raíces, acelera la maduración y aumenta la producción de semillas.
- 6) Potasio (K). El potasio es importante para la formación y transporte de azúcares y almidón e interviene activamente en el cierre y apertura de las estomas, por lo que reduce la transpiración de las plantas. Contribuye a la formación de raíces y al aumento del tamaño y calidad de la fruta, también incrementa la resistencia a enfermedades fungosas.

- 7) Calcio (Ca). El calcio forma parte de las paredes celulares y por lo tanto es esencial para la formación nuevas células, participa en el crecimiento de las plantas y de los frutos.
- 8) Magnesio (Mg). El magnesio al igual que el nitrógeno forma parte de las moléculas de clorofila y por lo tanto para el proceso de la fotosíntesis y la coloración verde de las plantas.
- 9) Azufre (S). El azufre es un constituyente de los aminoácidos, por lo que interviene en la síntesis de proteínas
- 10) Hierro (Fe). El hierro es indispensable para la formación de clorofila y por lo tanto de la coloración verde de las plantas, así mismo es un activador de procesos bioquímicos como la respiración, fotosíntesis o fijación simbiótica del nitrógeno.
- 11) Manganeso (Mn). El manganeso acompaña al hierro en la formación de clorofila y es un activador de algunas enzimas que intervienen en los procesos de crecimiento.
- 12) Boro (B). El boro interviene en la diferenciación de las células meristemáticas regula el metabolismo de los hidratos de carbono
- 13) Cloro (Cl). El cloro es necesario para las regulaciones fotosintéticas de las plantas.
- 14) Cobre (Cu). El cobre es un activador de varias enzimas en interviene en la formación de vitamina A.
- 15) Zinc (Zn). Es un constituyente de varias enzimas y controla la síntesis de algunas hormonas vegetales.
- 16) Molibdeno (Mo). Interviene en la asimilación del nitrógeno por las plantas.

Los elementos esenciales se dividen en tres grandes grupos: Los macro elementos que incluye al C, H, O, N, P y K. Los elementos secundarios que incluye al Mg, Ca y S. Y por otro lado a los micronutrientes que incluye al Fe, Mn, B, Cl, Cu, Zn y Mo. Esta clasificación se basa en la cantidad de nutriente utilizado por las plantas. Los nutrientes son absorbidos en forma iónica (combinados con otro elemento y con carga eléctrica), algunos de ellos tienen más de una forma de absorción. Cabe la pena mencionar que el C, H y O no se contemplan en los programas de fertilización, ya que el aire y el agua lo contienen en la cantidad adecuada para las plantas, por lo cual no es necesario incorporar más.

En el caso del Centro de Prácticas Productivas se utilizan fertilizantes químicos, por lo cual, el procedimiento de aplicación de nutrientes será con productos químicos. La ventaja de utilizar fertilizantes químicos es la precisión con la que vienen los elementos nutritivos y su alta solubilidad en agua Cuadro 1). Cuando se preparan los fertilizantes para diluirlos en el agua de riego, se dice que se hace una solución nutritiva.

**Cuadro 1. Fertilizantes más comunes en la composición de las soluciones nutritivas**

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

FUENTE: Hanan, 1997, tomado de 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.).

### 5.1 Formulación de 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<sup>+</sup> y aniones<sup>-</sup>). Los nutrientes son aportados como fertilizantes comerciales (Ver Cuadro 1). La relación entre los nutrientes, la concentración ideal de los mismos, el pH y la conductividad eléctrica generan “**La solución nutritiva ideal**”.

### 5.2 Unidades de concentración de la solución.

Para que no existan errores, los técnicos que preparan las soluciones nutritivas deberán estar familiarizados con las diferentes unidades de concentración de los iones que componen la solución nutritiva. En algunos Países predomina el uso de mg l<sup>-1</sup> (miligramos por litro), también conocido como partes por millón (ppm). En otros Países predomina el uso de mmol L<sup>-1</sup> (milimol por litro). La conversión de mg l<sup>-1</sup> a mmol l<sup>-1</sup> se obtiene al dividir por el peso atómico del ion correspondiente. En algunos otros Países predomina el uso de me l<sup>-1</sup> o también escrito como me l<sup>-1</sup> (miliequivalentes por litro). La conversión de mg l<sup>-1</sup> a me l<sup>-1</sup> se obtiene al dividir los mg l<sup>-1</sup> entre el peso equivalente del ion. En el Cuadro 2 se puede observar la relación entre las diferentes unidades de concentración y en el Cuadro 3 los factores de conversión de me l<sup>-1</sup> a mg l<sup>-1</sup>.

Por otra parte, los técnicos deben conocer que los nutrientes se disuelven en el agua y se absorben por la planta en forma de ion (molécula o elemento con carga eléctrica), que puede ser en forma de catión (carga positiva +) o en forma de anión (carga negativa -).

Para el Centro de Prácticas Productivas se utilizan las unidades en me/l para los macronutrientes y ppm para los microelementos.

**Cuadro 2. Relación entre unidades de concentración.**

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

*1 mmol de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> aporta 1 mmol de Ca<sup>+2</sup> y 2 mmol de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>*

*1 mmol de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aporta 2 mmol de K<sup>+</sup> y 1 mmol de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>*

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.).*

Es importante conocer estas relaciones entre las diferentes unidades de concentración de los nutrientes, ya que se evitan errores de cálculo al convertir de una unidad a otra. Por ejemplo, las relaciones entre mmol l<sup>-1</sup> y me l<sup>-1</sup> son iguales, excepto en los nutrientes que tienen una valencia de +2, donde por cada 1 mmol l<sup>-1</sup>, se tienen 2 me l<sup>-1</sup>.

**Cuadro No. 3. Factores de conversión**

<b>Multiplicar</b> <b>Miliequivalentes o meq/L</b>	<b>Por</b> <b>Pesos equivalentes</b>	<b>Para obtener</b> <b>Miligramos o ppm</b>
Ca	20.04	Ca
Mg	12.16	Mg
Na	23.00	Na
K	39.10	K
Cl	35.46	Cl
SO <sub>4</sub>	48.03	SO <sub>4</sub>
CO <sub>3</sub>	30.00	CO <sub>3</sub>
HCO <sub>3</sub>	61.01	HCO <sub>3</sub>
PO <sub>4</sub>	31.65	PO <sub>4</sub>
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	86.09	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O
Ca CO <sub>3</sub>	50.04	Ca CO <sub>3</sub>
S	16.03	S
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	49.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 18H <sub>2</sub> O	111.07	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 18H <sub>2</sub> O
FeSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	139.01	FeSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O
NO <sub>3</sub>	62.00	NO <sub>3</sub>

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.).

### 5.3 Cálculo de la solución nutritiva.

Para el cálculo de la solución nutritiva se parte de una solución tipo, es decir de la concentración ideal de nutrientes que debe existir en la solución que vamos a utilizar para regar al cultivo. Para esto es importante conocer el tipo de cultivo y la calidad del agua de riego, ya que el agua puede proporcionar algunos nutrimentos y, por lo tanto, esto permite ahorrar fertilizante. Una vez que se conocen estos parámetros se colocan en una hoja Excel con un cuadro de doble entrada (Cuadro No.6), donde por un lado se colocan los nutrimentos en la solución ideal (en forma horizontal) y por otro lado se colocan las fuentes fertilizantes (en forma vertical). Enseguida, en forma horizontal se colocan los nutrientes que trae el agua de riego, y luego por diferencia con respecto a la fórmula original, se define la cantidad de nutrientes a aplicar. Por otra parte, a pesar de no ser un nutriente, se consideran los bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), los cuales deben ser neutralizados con algunos de los fertilizantes ácidos. Estos bicarbonatos se neutralizan a un nivel de 0.5 a 1.0 me l<sup>-1</sup>, para evitar formación de precipitados en el agua de riego, ya que pueden reaccionar de forma negativa con el calcio y el magnesio.

En seguida se tiene algunas fórmulas sugeridas por los expertos el cultivo de jitomate en cultivos sin suelo, y que sirven de base para el cálculo de los nutrientes requeridos por etapa de crecimiento y gasto de agua (Cuadros 4 y 5).

**Cuadro 4. Solución nutritiva sugerida para cuatro etapas desarrollo de jitomate en invernadero de tecnología baja e intermedia bajo condiciones hidropónicas (datos en me/l)**

	<b>Etapas 1</b>	<b>Etapas 2</b>	<b>Etapas 3</b>	<b>Etapas 4</b>
<b>Ion</b>	1er cuaje	1er-3er cuaje	3er-5° cuaje	> 5°cuaje
<b>NO<sub>3</sub>-</b>	6	8	10	12
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0 - 0.5	0 - 0.5	0.5	0.5
<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	1.5	1.5	1.5	1.5
<b>K<sup>+</sup></b>	3.5	5.5	7	8.5
<b>Ca<sup>++</sup></b>	8	8	8	9
<b>Mg<sup>++</sup></b>	2	3	4	4
<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	3 - 6	3 -6	3 - 6	3 - 8
<b>HCO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>Na<sup>+</sup></b>	<5	<5	<5	<5
<b>Cl<sup>-</sup></b>	1 -3	1 - 3	3 - 5	3 - 5
<b>CE</b>	1.4	1.8	2.2	2.4

Tomado de 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.

**Cuadro 5. Concentración recomendada (en ppm) de micronutrientes en la solución nutritiva (Fernández y Camacho, 2008)**

<b>Micronutriente</b>	<b>Concentración (ppm)</b>
<b>Fe (fierro)</b>	1.5
<b>Mn (manganeso)</b>	0.8
<b>Zn (zinc)</b>	0.3
<b>Cu (Cobre)</b>	0.06
<b>B (boro)</b>	0.4
<b>Mo (molibdeno)</b>	0.06

Tomado de 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.

Una vez que se tiene la formula final a calcular, en los cuadros de intersección nutrientes y fertilizantes se hace un balance para repartir la cantidad de iones que le corresponde a cada fertilizante. Por ejemplo, se necesitan 4.46 me/l de K<sup>+</sup>, entonces se obtienen de agregar 3.07 me/l de KNO<sub>3</sub> y 1.39 de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sin embargo, cada uno de estos fertilizantes también aportan otros nutrientes, el primero aporta 3.07 me/l de NO<sub>3</sub>, y el segundo aporta 1.39 me/l de SO<sub>4</sub>, por lo cual tienen que ponerse en el ion correspondiente a NO<sub>3</sub> y SO<sub>4</sub>. Este ejercicio se realiza para cada uno de los nutrientes involucrados, buscando siempre un balance adecuado entre los diferentes iones y los fertilizantes. Una vez, que se terminó de balancear los diferentes nutrientes, enseguida se obtienen los gramos o mililitros de fertilizante a aplicar por cada 1000 l de agua, para ello se requieren los pesos equivalentes (P.E.) de los fertilizantes comerciales, se multiplican los me/l de cada ion por el P.E. y se obtiene la cantidad del fertilizante por cada 1000 litros de agua. En el caso de los ácidos, estos se convierten de gramos (g) a mililitros (ml) tomando en cuenta su densidad y el porcentaje de pureza. De aquí se extrapolan a la cantidad deseada de agua. Por ejemplo, 1 l, 100 l, 500 l, etc.

Cuadro 6. Plantilla excel para preparación de soluciones nutritivas.

SOLUCION NUTRITIVA	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P.M.	P.E.	FERTILIZANTE GR/M <sup>3</sup>
FORMULA	9	0.75	5.25	1	5.25	6	3.75				
(me/lit)											
ANALISIS DE AGUA	0.05	0.02	0.9	5.8	0.79	4.14	3.62				
(me/lit)											
SOL. NUTRITIVA	8.95	0.73	4.35	-4.8	4.46	1.86	0.13				
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>									80	80	
KNO <sub>3</sub>	3.07				3.07				101	101	310.07
MgNO <sub>3</sub>									256	128	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0.73		0.73					98	98	71.54 (44.7 ml)
HNO <sub>3</sub>	4.07			4.07					63	63	256.41 (333 ml)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>									68	68	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.86					1.86			236	118	219.48
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			1.39		1.39				174	87	120.93
MgSO <sub>4</sub>			1.38				1.38		246	123	169.74
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>									115	115	
SUMA	9	0.73	2.77	4.8	4.46	1.86	1.38				
DIFERENCIA		0.2	2.48	0	0	0	1.25				

\*Los fertilizantes expresados en g/m<sup>3</sup> se obtiene de la multiplicación de las unidades en miliequivalentes (me/l) de cada combinación de nutrientes que representan un fertilizante por el peso equivalente de dicho fertilizante. Por ejemplo, el KNO<sub>3</sub> (nitrato de potasio se necesitan 3.07 me/l por 101 (P.E.) es igual a 310.07 g.

\*\*En el caso de los ácidos (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, y HNO<sub>3</sub>) el valor final expresado en g, se divide entre su densidad y luego por regla de 3 se expresa al 100% de concentración para aplicar ml, ya que son líquidos. Para el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, su densidad es de 1.6 g/ml y viene al 85% de concentración. El HNO<sub>3</sub>, tiene una densidad de 1.4 g/ml y viene a una concentración del 60%

Para el caso de los microelementos, lo más común es utilizar fertilizantes a base de complejo de microelementos, como el agua de riego no contiene ningún micro elemento, se utilizan las fórmulas comerciales que se venden por kg. En el Centro de Prácticas se utiliza un producto llamado "Trade Corp" que contiene Fe, Mn, Mo, Zn, B y Cu, del cual se utilizan 20 g/m<sup>3</sup> de agua. El cloro (Cl), generalmente está presente en las impurezas del agua, por lo cual, no es necesario aplicarlo.

#### 5.4 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, en el caso del Centro de Prácticas son tinacos de 2500 litros y se procede a aplicar los fertilizantes de la siguiente forma:

- 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.



Figura 14. Pesado de fertilizantes



15. Pesado de fertilizantes con microelementos



Figura 16. Ácidos y fertilizantes utilizados



Figura 17. Disolución de fertilizantes en forma individual

- d) 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.

El pH con la aplicación de los ácidos debe quedar en un valor aproximado de 6.2 a 6.4

## 6. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES MADRE E INYECCIÓN DE FERTILIZANTES

Con el procedimiento descrito anteriormente se obtienen soluciones nutritivas estándar, es decir, soluciones nutritivas que se aplican a través del riego y llegan directamente a las raíces de las plantas. Por ejemplo, en el Centro de Prácticas, los tinacos de riego tienen una capacidad de 2500 litros de agua, por lo tanto, se hacen soluciones nutritivas para 2500 litros de agua, y cada vez que esta se termina, se vuelve a realizar una nueva solución nutritiva para esa cantidad de agua. Para la superficie de invernaderos que se tienen (158.4 m<sup>2</sup> en promedio por cada invernadero), estas soluciones duran hasta 3 o 4 días en periodos de alta demanda de riego por las plantas, lo anterior implica, que se realizan preparaciones de soluciones nutritivas cada mismo lapso de tiempo. Sin

embargo, cuando la superficie de cultivo es muy grande, los tinacos con soluciones nutritivas estándar dejan de ser funcionales, ya que una hectárea de invernaderos (10,000 m<sup>2</sup>) se gasta al día en máxima demanda de agua hasta 90,000 litros de agua, por lo cual es necesario, preparar soluciones madre e inyectar al sistema de riego sólo una parte proporcional de esa solución nutritiva y cuando se mezcle con el agua se convierta en una solución nutritiva estándar.

### **6.1 Soluciones madre.**

Una solución nutritiva madre, es una solución altamente concentrada de nutrientes, la concentración está determinada por la máxima cantidad de fertilizantes que pueden ser solubilizados en una cantidad conocida de agua (ver Cuadro No. 1). Por otra parte, al tener soluciones altamente concentradas, es posible que los nutrientes puedan reaccionar químicamente, de tal manera que pueden formar precipitados y, por lo tanto, perder su capacidad de solución y no ser útiles para las plantas. Por esta razón, cuando se realizan soluciones nutritivas madre, se tiene que conocer por un lado el grado de solubilidad de los fertilizantes fuentes de nutrientes y su compatibilidad al mezclarlos.

El calcio reacciona fuertemente con los sulfatos y los ácidos cuando se maneja alta concentración, por lo cual se debe evitar mezclarlos y de preferencia debe de mezclarse sólo con los nitratos y el complejo de microelementos (primer tinaco). Los ácidos reaccionan también con los demás nutrientes, por lo cual deben ir solos (segundo tinaco). Y, por último, los sulfatos pueden mezclarse con los nitratos, por lo cual se necesita un tercer tinaco. Existen unidades productivas, con un manejo altamente tecnificado que utilizan hasta 5 tinacos: el primero para los ácidos, un segundo para el calcio, un tercero para los nitratos, un cuarto para los sulfatos y un quinto y último para los microelementos.

### **6.2 Cálculo de soluciones nutritivas madre**

En el Centro de Prácticas Productivas de la FES Aragón, se preparan soluciones nutritivas para el cultivo de jitomate, para ello se ocupan 3 tinacos tipo rotoplas de 450 litros cada uno. Para saber la cantidad de fertilizante a diluir en cada tinaco, primero se realiza el cálculo de cantidad de fertilizantes para una solución estándar para 1,000 litros de agua, siguiendo el método descrito en páginas anteriores.

Enseguida se calcula el agua que se va a utilizar en el agua de riego, tomando en cuenta el agua limpia y lo que inyectan las soluciones madre. Para ello se necesita que en las tuberías que transportan agua limpia se coloque un medidor de flujo de agua (flujometro), por otra parte, también se debe conocer el nivel de inyección al sistema de riego de cada una de los tinacos de soluciones madre. Para ello se instala un sistema de tuberías con válvulas y 3 inyectores tipo Venturi con medidores de flujo.

Por ejemplo, se parte del gasto de agua limpia y el gasto de 3 inyectores tipo Venturi que se realiza en una hora. Para nuestro ejercicio, se calibraron con los siguientes datos (ver Cuadros No. 7 y 8)

Gasto de agua limpia por hora: 3,600 litros.  
Gasto por inyector: 150 litros por hora  
Gasto de los 3 inyectores por hora: 450 litros  
Gasto total por hora: 4,050 litros



Figura 18. Tinacos con soluciones madre

**Cuadro No. 7. Gasto de agua de un sistema de inyección**

	Litros por hora (LPH)
Flujometro (agua limpia)	3600
Inyectores	450
Total	4050

Fuente: Elaboración propia con datos del sistema de inyección de fertilizantes

**Cuadro No. 8. Gasto de inyección de fertilizantes**

Inyectores	Gasto por inyector	Gasto total
LPH	150	450

Fuente: Elaboración propia con datos de la capacidad de los inyectores

Lo anterior indica, que en una hora de riego se ocuparan 4,050 litros y este será la cantidad a calcular de fertilizantes para una solución estándar. Por otra parte, como los tinacos de las soluciones madre son de 450 litros (Figura No. 18), esto quiere decir, que se podrán realizar preparaciones para 3 veces, ya que cada tinaco tiene capacidad para 450 litros y en cada hora se gasta 150 litros, alcanzara para 3 veces, esto quiere decir, que la solución concentrada o madre alcanzara para 12,150 l.



Figura19. Sistema de inyección de fertilizantes

### 6.3 Inyección de fertilizantes

Una vez que se conoce, la cantidad de agua limpia y la cantidad de fertilizantes que hay que disolver en cada tinaco, se realiza un procedimiento similar de preparación de fertilizantes igual que cuando se hace una solución nutritiva estándar. Primero se deben de conocer los fertilizantes a utilizar y la cantidad de cada uno de ellos (ver Cuadro No.9). Luego se procede a pesarlos y disolverlos de manera individual en cubetas de plástico de 20 litros. Es importante que se utilicen cubetas de plástico para evitar reacciones químicas de los recipientes; generalmente la cantidad de fertilizantes que se va a disolver es mayor que en una solución nutritiva estándar, la preparación debe hacerse hasta en dos cubetas de plástico.



Figura 20. Inyectores de fertilizantes tipo Venturi con dosificador

Una vez que los fertilizantes están disueltos en las cubetas (Figura 21) se procede a vaciarlos en los tinacos correspondientes (figura 22), donde previamente se llenaron de agua a la mitad de su

capacidad y posteriormente se aforan hasta llenarlos totalmente. La preparación de las soluciones madre se hace por tinaco y se aplican primero los menos solubles a los más solubles (en el Cuadro No. 9 los fertilizantes tienen la numeración de aplicación).

**Cuadro No. 9. Cantidad de fertilizantes por tinaco a preparar de acuerdo al nivel de concentración**

<b>TINACO 1</b>	<b>1 VEZ (g)</b>	<b>2 VECES (g)</b>	<b>3 VECES (g)</b>
KNO <sub>3</sub> (Nitrato de potasio) (2)	1256	2512	3768
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Sulfato de potasio) (1)	490	980	1470
<b>TINACO 2</b>	<b>1 VEZ (g)</b>	<b>2 VECES (g)</b>	<b>3 VECES (g)</b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (Nitrato de calcio) (1)	890	1780	2670
Microelementos (2)	100	200	300
<b>TINACO 3</b>	<b>1 VEZ (ml)</b>	<b>2 VECES (ml)</b>	<b>3 VECES (ml)</b>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (Ácido fosfórico) (2)	291	583	875
HNO <sub>3</sub> (Ácido nítrico) (1)	1296	2592	3888

Fuente: *Elaboración propia con datos de un cálculo de nutrición para 1.5 de CE*



Figura 21. Disolución de fertilizantes para soluciones madre



Figura 22. Preparación de soluciones madre

Una vez que los 3 tinacos de las soluciones madre están preparados se procede a calibrar la inyección de fertilizantes (Figuras 19 y 20) a la proporción deseada. Primero se calibra el flujometro al gasto deseado, en el ejercicio calculado, se calibra a 60 LPH, en seguida se procede a calibrar cada uno de los 3 inyectores para que su gasto sea a 150 LPH.



Figura 23. Calibración del flujometro



Figura 24. Calibración de inyector

Una vez que el sistema de inyección está bien calibrado (figuras 23 y 24), es importante checar el pH y la CE de la solución nutritiva que se llevara a través del riego por goteo localizado a las plantas cultivadas. El pH de la solución debe estar en un rango de 6.0 a 6.5, la CE estará acorde a la cantidad de nutrientes aplicados de acuerdo a una fórmula de nutrición y la calidad del agua, generalmente esta es de 1.5 a 2.5 de CE. Para la medición del pH y la CE, es importante contar con un instrumento de medición que mida ambos valores (Figura 25 y 26), por ejemplo, el “combo pH y CE”



Figura 25. Medición de pH



Figura 26. Medición de CE

Otros aspecto importante de las soluciones madre, es que debido a la alta concentración de los fertilizantes sólidos en dos de los tinacos, para evitar precipitaciones de los mismos, es importante mantener una agitación constante de la solución, para ello es importante contar con un equipo de agitación de la solución nutritiva, ya sea con un agitador mecánico que se pone por arriba de los tinacos, o en su caso un sistema de recirculación de la solución con bombas de agua (Figuras 27 y 28), estos sistemas generalmente trabajan con un controlador de tiempo (timer) y la solución madre se mantiene en agitación de forma periódica durante el día.



Figura 27. Agitador mecánico de soluciones nutritivas



Figura 28. Bombas de agua para recirculación de solución.

Para el caso del tinaco de los ácidos, que generalmente contiene ácido nítrico y ácido fosfórico, no es necesario mantenerlo en agitación, ya que, por la naturaleza altamente soluble de los mismos, no hay precipitación y se mantienen perfectamente solubilizados en el agua.

#### 6.4 Mantenimiento del sistema de inyección

Es muy importante mantener en buen estado el sistema de inyección de fertilizantes y los tinacos de las soluciones madre. Ya que, con el paso del tiempo y el manejo de altas concentraciones de fertilizantes, estos van formando capas de sarro en las mangueras, tinacos, tuberías e inyectores.

A los inyectores de fertilizantes, especialmente los que inyectan fertilizantes sólidos a base de nitratos, calcio, sulfatos y microelementos, deben lavarse periódicamente para que se mantengan bien calibrados. Precisamente por eso el sistema de inyección cuenta con válvulas y tuercas unión, para poder quitar cada uno de ellos de forma independiente y poder lavarlos, para eso se necesita agua, un cepillo y un limpiapipas, primero se quita cada inyector del sistema de inyección y se lava individualmente (Figuras 29 y 30).



Figura 29. Lavado del inyector con un limpiapipas



Figura 30. Lavado de accesorio del inyector de con cepillo

A las tuberías de alimentan a los inyectores se lavan con una solución con ácido nítrico a alta concentración, donde e pH oscile entre 3.0 a 3.5 para eliminar todo el sarro interno de dichas mangueras, para ello, en una cubeta se pone la solución ácida y se inserta el accesorio succionador de fertilizante obligándolo a tomar la solución ácida (figura 31), para realizar este trabajo es importante que se realice en la etapa previa al establecimiento del cultivo, ya que los inyectores succionan la solución acida y la envían a las camas de siembra. Si estuviera el cultivo en crecimiento, podría haber daños por toxicidad de dicha solución.

Por otra parte, los tinacos de las soluciones madre también deben de lavarse al finalizar cada ciclo de cultivo y estar totalmente limpios al iniciar el nuevo ciclo. Para ello, se lavan y se tallan con escoba y cepillos y se elimina todo el sarro pegado a las paredes del mismo (figura 32).



Figura 31. Filtro de succión en solución acida



Figura 32. Lavado de tinaco

## BIBLIOGRAFÍA

Castellanos J., Z. y J.L. Ojodeagua. "Manejo de la Fertirrigación del Tomate en Suelo". En Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Castellanos Z. J. (Editor). INTAGRI, pp 200-201. 2009

Muñoz R., J.J. y J. Castellanos. *Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. Patrocinado por INTECA (Innovaciones Tecnológicas en Agricultura. Guanajuato), México. 2003.

Muñoz R., J.J. "Manejo del cultivo del tomate en invernadero". En Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Castellanos Z. J. (Editor). INTAGRI, pp 51-55. 2009.