



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO**

**UAEM**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**



## **APUNTES DE HORTICULTURA AVANZADA**

**AUTOR: DR. EN AG. ANGEL SOLIS VALENCIA**

**OCTUBRE DE 2016**

# CONTENIDO

<b>UNIDAD DE APRENDIZAJE I SISTEMA DE PRODUCCION EN HIDROPONIA</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
<b>Conceptos generales</b>	<b>7</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>8</b>
<b>Ventajas de la hidroponía</b>	<b>11</b>
<b>Desventajas de la hidroponía</b>	<b>13</b>
<b>Importancia de la hidroponía</b>	<b>18</b>
<b>Principios de la hidroponía</b>	<b>22</b>
<b>Métodos de cultivo en hidroponía</b>	<b>26</b>
<b>UNIDAD DE APRENDIZAJE II SISTEMA DE PRODUCCION EN SEMIHIDROPONIA</b>	<b>26</b>
<b>Clasificación de los métodos de cultivo en semihidroponia</b>	<b>26</b>
<b>Cultivo en solución nutritiva</b>	<b>30</b>
<b>UNIDAD DE APRENDIZAJE III SISTEMA DE PRODUCCION EN RAIZ FLOTANTE</b>	<b>34</b>
<b>Técnica de raíz flotante</b>	
<b>UNIDAD DE APRENDIZAJE IV SISTEMA DE PRODUCCION NFT</b>	<b>39</b>
<b>La "Tecnica de película nutritiva o NFT"</b>	
<b>UNIDAD V OTROS SISTEMAS</b>	
<b>Cultivo intensivo de forraje verde hidropónico (FVH)</b>	<b>47</b>
<b>Soluciones nutritivas</b>	<b>50</b>
<b>Diseño de una solución nutritiva</b>	<b>67</b>
<b>Síntomas de exceso y deficiencias</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>97</b>

# **UNIDAD DE APRENDIZAJE HORTICULTURA AVANZADA**

## **ESTRUCTURA DE LA DE APRENDIZAJE**

Unidad I Sistema de Producción en hidroponía

Unidad II Sistema de Producción en Semihidroponia

Unidad III Sistema de Producción en raíz flotante

Unidad IV sistema de Producción en NFT

Unidad V Otros sistemas

El presente apunte apoya a la asignatura de horticultura avanzada (hidroponía) de la Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista Currícula 2003 actualizada en 2014

# UNIDAD I SISTEMA DE PRODUCCION EN HIDROPONIA

## Objetivo.

En esta unidad de aprendizaje el alumno podrá distinguir que es la horticultura avanzada desde el punto de vista de la hidroponia, sus diversas ramas así como entenderá las ventajas y desventajas de esta disciplina y sus antecedentes

## INTRODUCCIÓN

México ocupa el tercer lugar en producción agropecuaria de América Latina después de Brasil y Argentina, y el 12º a nivel mundial por otro lado es el exportador número 1 en producción de tomates hacia Estados Unidos y tiene el lugar número 10 a nivel mundial como productor de Hortalizas y el 7º en superficie cubierta de agricultura protegida por lo que nuestro país destaca como una potencia en la producción hortícola (SAGARPA 2016).

El sector hortícola a nivel nacional ocupa el 3% de la superficie agrícola total, esto significa la siembra de 560,000 has. aproximadamente, de las cuales el 77% se cultiva bajo condiciones de riego, lo cual genera cerca de 13, 186 millones de pesos, mientras que solo el 3 % de ese total se realiza con agricultura protegida, por lo que es importante dar mas auge a esta actividad, ya que los rendimientos por unidad de superficie se incrementan significativamente.

La hidroponía es una de las técnicas que mayor impacto ha tenido en el ámbito productivo, dicho sistema de producción se caracteriza por no requerir el suelo como sistema biótico y de sostén, por lo que representa una alternativa en los lugares donde el suelo ha sido muy degradado o que presente muchas deficiencias tanto físicas como químicas, y además permite hacer un uso más eficiente del agua

En la actualidad se considera a la hidroponía como una rama establecida de la agronomía que esta en constante expansión, dentro del rubro de producción en invernaderos, el

sistema de hidroponía posee particularidades que obliga a utilizar principios tecnológicos diferentes a los empleados en lo que típicamente se considera como manejo de invernaderos.

Al paso del tiempo, se modificó esta práctica y se empezaron a usar diversas clases de sustratos empleándose mezclas de elementos sólidos, entre los que se pueden citar, arena, grava, tezontle, tepojal, unicel, ladrillo quebrado o molido, vermiculita, turba vegetal, resinas sintéticas y cascarilla de arroz, entre otros.

El éxito de este sistema de explotación depende del manejo que se haga de las soluciones nutritivas, ya que es determinante la aireación de las raíces, por lo que del drenaje, sistema de circulación de aire, el tipo de planta y la clase de sustrato, depende la frecuencia de los riegos.

En general, bajo estas condiciones, con la agricultura normal y aun contando con riego, los rendimientos son muy pobres. Con hidroponía no sólo es posible producir con altos rendimientos sino que también contribuye en mayor o menor grado, al restablecimiento del suelo, lo que es sumamente esencial desde los puntos de vista ecológico y económico.

La hidroponía requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica: a gran escala la hidroponía tiene márgenes estrechos de seguridad para alcanzar el éxito y es peligroso ignorar este hecho. Se requiere de cierta destreza técnica, conocimiento hortícola y control científico, por lo que esta es una oportunidad para los alumnos para dominar técnicas que hasta el momento no han sido explotadas en su totalidad y requieren de personal calificado

## OBJETIVOS

- Es importante para el discente saber distinguir y dominar los diferentes sistemas de hidroponía en hortalizas ya que esto le permitirá estar a la vanguardia y poder competir en la producción hortícola por lo que el presente apunte facilitara al alumno y público en general mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la práctica constante en iniciativas que le permitan aplicar sus conocimientos de forma que desarrolle habilidades y destrezas
- Inducir en los alumnos y productores en tecnologías de hidroponia para hacer más eficiente esta actividad.
- Mediante estos apuntes se espera que los alumnos y público en general conozcan las más recientes tecnologías de hidroponía, que les permita tener la oportunidad de mejorar sus actividades productivas, de modo tal que puedan transformar sus condiciones de vida.
- Ante la baja rentabilidad del maíz es indispensable contar con cultivos que tengan una relación beneficio costo mayor, aunado a la creciente demanda de productos hortícolas para fines de exportación, la producción de hortalizas es una alternativa ideal para la producción intensiva

## **Conceptos generales.**

Horticultura, es una palabra de origen latino que significa "El Cultivo del Jardín", forma parte de la ciencia agronómica que se encarga del estudio y mejoramiento de flores, frutas y hortalizas e incluye disciplinas tales como:

- Olericultura.- Se refiere especialmente al cultivo de legumbres, verduras, partes vegetativas o frutos alimenticios.
- Floricultura.- Conocida también como horticultura ornamental la cual es el cultivo de flores, plantas ornamentales y follajes ya sea de corte o en maceta
- Viticultura.- Utilización de la vid y elaboración de vinos.
- Pomicultura.- Aprovechamiento de los frutales en general, también conocida como fruticultura.
- Jardinería.- arte de conservar y cultivar jardines

Generalmente cuando evocamos el concepto de Horticultura lo relacionamos con hortalizas por lo que es importante saber lo que significa y poder distinguirla

- Hortaliza.- por razones de carácter práctico, se empleará el término genérico de hortalizas, para referirse exclusivamente a las legumbres, verduras, partes vegetativas o frutos que generalmente se consumen en fresco, ya sea una parte de ellas o su totalidad.
- Horticultura avanzada la definiremos como los sistemas de producción de vanguardia que nos permitan superar los rendimientos por unidad de superficie e incluye disciplinas como: hidroponía, semihidroponia, plasticultura, y producción orgánica

La hidroponía es una de las técnicas que mayor impacto ha tenido en el ámbito productivo, dicho sistema de producción se caracteriza por no requerir el suelo como sistema biótico y de sostén, por lo que representa una alternativa en los lugares donde el suelo ha sido muy degradado o que presente muchas deficiencias tanto físicas como químicas, y además permite hacer un uso más eficiente del agua

Deriva de los vocablos griegos "hydro" o "hudor" que significan agua y "ponos" trabajo o

actividad, literalmente se traduce como trabajo del agua o actividad del agua.

Sánchez C. 1988, la define como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución.

Existen otros términos que se usan como sinónimos de hidroponía, los cuales son:

Cultivos sin suelo, nutricultura, quimiocultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, etc. en la actualidad el termino hidroponía es el más generalizado y más popular, además de ser utilizado en varios idiomas.

Semihidroponia, desde el punto de vista del autor del presente apunte, la definiremos como la actividad de utilizar eficientemente el agua con técnicas parecidas a la hidroponía, pero se puede utilizar sustratos o incluso suelo para una mejor nutrición, auxiliándose de la plasticultura

## **Antecedentes**

Jan Van Helmont en 1600 creyó probar que las plantas obtenían sus nutrimentos del agua al trasplantar un sauce en un tubo con 80 Kg. de peso de suelo seco, lo cubrió y lo regó con agua de lluvia por cinco años al final del experimento encontró que la planta aumento 64 Kg. de peso, mientras que de suelo solo se perdieron 60 gr. de peso

Woodward 1699 considero en sus experimentos que la adición de pequeñas cantidades de suelo en diferentes tipos de agua mejoraba el crecimiento de las plantas, concluyendo que es la tierra y no el agua la materia que constituye a los vegetales.

De Sausure (1804) trabajo en cultivo en agua y Boussingault (1851-1856) trabajo mediante cultivo en arena y cultivo al carbón, ambos demostraron que las plantas contienen CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H y N.

Saks y Knops (1861-1865) son los iniciadores de la hidroponía descubren que las plantas además de requerir CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H y N. requieren ademas, P, K, Ca, Mg, y Fe. Son los

primeros en publicar soluciones nutritivas, a partir de las cuales se han publicado otras como las de Tollens (1882), Nottingham (1914), Shive (1915)

Gericke (1929) fue el primero en desarrollar exitosamente un cultivo hidropónico y de él surge este término junto con Travernett reportan que se obtuvo una tonelada de jitomate en 9.2 m<sup>2</sup>, pero no se generalizó debido a que se requería de alto grado de conocimiento técnico y de bastante experiencia práctica.

Withrow y Biebel (1936) perfeccionan un mecanismo automático de riego por subirrigación (de abajo hacia arriba)

En 1938 la hidroponía entró en el campo de la horticultura, en E. U. se trabajaron con tinas hidropónicas las cuales la mayoría fracasó debido a la falta de información y lo costoso de los accesorios para operar.

En la segunda guerra mundial el ejército de los E. U. construyó varias instalaciones hidropónicas para abastecer a los soldados sobre todo en lugares aislados, al término de la guerra, construyeron la instalación hidropónica más grande del mundo en aquel entonces en la isla de Chofú en Japón con 31 has.

Después de la guerra la investigación y práctica de la hidroponía se ha incrementado, ahora se trabaja en buscar sistemas hidropónicos más baratos y fáciles de manejar, y en aspectos de nutrición vegetal.

En la actualidad se considera a la hidroponía como una rama establecida de la agronomía que está en constante expansión

Incluido dentro del rubro de producción en invernaderos, el sistema de hidroponía posee particularidades que obliga a utilizar principios tecnológicos diferentes a los empleados en lo que típicamente se considera como manejo de invernaderos.

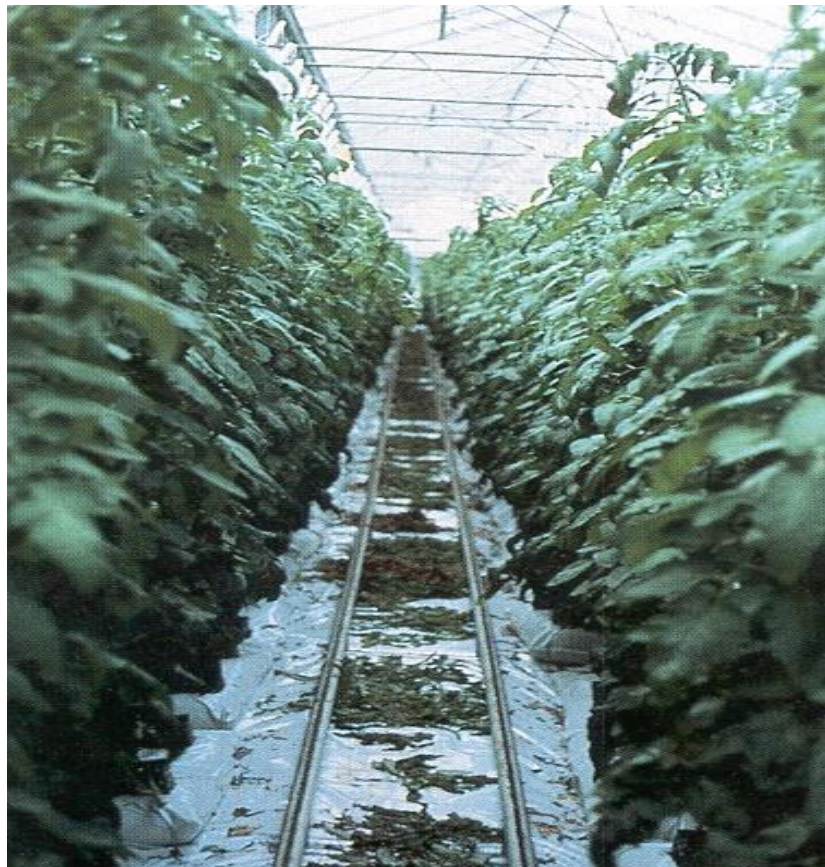
La hidroponía como fue concebida, consideraba como sustrato, únicamente a la solución nutritiva, teniendo que sostenerse las plantas por medio de instalaciones mecánicas.

Al paso del tiempo, se modificó esta práctica y se empezaron a usar diversas clases de sustratos empleándose mezclas de elementos sólidos, entre los que se pueden citar,

arena, grava, tezontle, tepojal, unicel, ladrillo quebrado o molido, vermiculita, turba vegetal, resinas sintéticas y cascarilla de arroz, entre otros.

La hidroponía ha mostrado una gran flexibilidad y se puede usar con éxito bajo variadas condiciones. En los países asentados en zonas áridas, como Israel y Arabia Saudita, que cuentan con medios económicos, pero escasas disponibilidades hídricas y que por lo tanto, tienen que ser manejadas con sumo cuidado, este sistema se ha utilizado con gran éxito, no sólo por los rendimientos unitarios que obtienen, sino porque han logrado eficiencias considerables en el uso del agua, ya que se reporta que pierden hasta 20 veces menos volúmenes del vital líquido, comparado con las explotaciones agrícolas irrigadas bajo los procedimientos tradicionales.

En el caso de los trópicos, donde las enormes precipitaciones lixivian, los nutrimentos y empobrecen los suelos, provocan problemas de drenaje y propician el desarrollo de plagas y enfermedades, la hidroponía, ha sido una alternativa viable para la producción de alimentos.



## **Ventajas de la hidroponía**

Radican en:

- Mejores condiciones de nutrición para las plantas \*
- Aireación adecuada del sustrato, que favorece los procesos -respiratorios y metabólicos
- Condiciones favorables de humedad. \*
- Reducción de los periodos de crecimiento de las plantas.
- Reducción de estrés en las plantas por déficit hídrico.
- Balance ideal de aire, agua y nutrientes \*
- Excelente drenaje
- Permite una mayor densidad de población
- Fácil corrección de deficiencias
- Mayor densidad de población
- Mejor control de pH
- Menor dependencia de fenómenos meteorológicos
- Mayor calidad del producto
- Posibilidad de cultivar continuamente la misma especie
- Uniformidad de los cultivos
- Gran ahorro de agua
- Reducción de costos de producción
- Se puede utilizar agua con alto contenido de sales
- Proporciona excelentes condiciones de semillero
- Mayor limpieza e higiene
- Posibilidad de enriquecer los productos con vitamina y minerales
- Posibilidad de utilizar materiales nativos o de desecho
- Posibilidad de utilizar mano de obra no calificada
- Posibilidad de automatización
- Reducción de contaminación
- Rápida amortización
- Bajo gasto en maquinaria
- Bajos riesgos de erosión

El éxito de este sistema de explotación depende del manejo que se haga de las

soluciones nutrimentales, ya que es determinante la aireación de las raíces, por lo que del drenaje, sistema de circulación de aire, el tipo de planta y la clase de sustrato, depende la frecuencia de los riegos.

El crecimiento de las hortalizas, se retrasará tanto por exceso como por falta de agua. Establecido, de acuerdo a los recursos económicos y propósitos de la explotación, cuál debería ser el sistema de irrigación, en seguida es necesario seleccionar el sustrato que más se ajuste a las características de la explotación.

Los sustratos para que puedan cumplir con sus funciones deben poseer entre otras, las siguientes características:

1. No ser tóxicos.
2. No contener sales o sustancias que interfieran el desarrollo de las plantas.
3. Que se ajusten al pH de la solución nutritiva.
4. Ser de consistencia uniforme, sin aristas o elementos que dañen el sistema radicular y
5. En lo posible, ser materiales de la región. Además, considerar el precio y la facilidad de manejo.



Respecto de las inversiones, se ha considerado que para que una explotación de hidroponía sea redituable, las erogaciones se deben amortizar en un lapso de dos años.

En nuestro país, sobre todo en regiones agrícolas del Centro, como en Tequisquiapan, Querétaro, existen explotaciones a base de hidroponía para cultivos como tomate en los

que se han obtenido rendimientos que superan en 10 veces a los de los cultivos tradicionales.

Los responsables de estas explotaciones señalan que, con el sistema de hidroponía, se incrementan los beneficios económicos, debido a que una vez que se ha estabilizado el sistema, se reducen los costos de producción, se elevan los rendimientos unitarios, se aumenta la precocidad de las plantas, se controlan mejor las plagas y enfermedades, y se obtienen cosechas durante todo el año, razón por la cual se reciben los mejores precios de venta, por un producto con una calidad que supera las demandas del mercado.

### **Desventajas de la hidroponía**

Después de señalar varias de las múltiples ventajas que presenta la hidroponía sobre los sistemas de cultivo en suelo, es lógico que surge la siguiente pregunta: ¿por qué siendo la hidroponía tan ventajosa no ha alcanzado una popularidad más amplia? Esta interrogante se resuelve si se considera la poca difusión que se da y los argumentos vertidos en contra de la hidroponía, que enseguida se discuten como desventajas del sistema hidropónico:

1.- Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química inorgánica: a gran escala la hidroponía tiene márgenes estrechos de seguridad para alcanzar el éxito y es peligroso ignorar este hecho. Se requiere de cierta destreza técnica, conocimiento hortícola y control científico, por lo que si alguien intenta trabajar a este nivel deberá proveerse de un asesor que posea estas cualidades (por ejemplo: un agrónomo especialista en hidroponía o un profesionalista similar) o bien adquirir experiencia por su propia cuenta.

Si bien es cierto que para trabajar con cultivos bajo el sistema hidropónico a nivel comercial se requiere de cierta habilidad técnica, también lo es cuando se habla de sistemas intensivos de cultivo en suelo. Desde luego que cualquier persona que intente trabajar a nivel comercial en hidroponía o en suelo debe estar completamente seguro de que su nivel técnico es el adecuado.

El cultivo hidropónico, que usa como sustrato la arena, demanda aproximadamente la misma destreza técnica, el mismo conocimiento y cuidado del cultivo y similares condiciones de luz, temperatura, etc., que los cultivos en suelo. El conocimiento técnico

es similar al que se debe poseer para trabajar a nivel comercial con cualquier sistema intensivo de cultivo en suelo.

Por otro lado, aunque a nivel comercial se considera útil tener conocimientos básicos de química inorgánica y fisiología vegetal, éstos no son esenciales ya que las carencias de conocimientos de este tipo se pueden suplir siguiendo al pie de la letra recomendaciones prácticas, como por ejemplo comprar los fertilizantes ya mezclados, o bien determinar una deficiencia con base en claves ilustradas, etc.

En los últimos años se crearon nuevos tipos de hidroponía y se simplificaron otros, de tal manera que se han puesto al alcance de gentes menos preparadas. Sin embargo, a gran escala, los riesgos a que se somete una persona sin conocimientos son bastante altos, sobre todo por la inversión erogada.

Las argumentaciones anteriores no son válidas si hablamos a pequeña y mediana escala, en donde para tener éxito en el manejo del sistema hidropónico sólo se requiere seguir al pie de la letra ciertas recomendaciones sencillas.

2.- A nivel comercial el gasto inicial es relativamente alto: en efecto, el costo para establecer un sistema de cultivo hidropónico a nivel comercial es alto, ya que por lo general se tienen que construir camas y depósitos de concreto u otro material perdurable, comprar el material a usar como: sustrato, bombas, tuberías y en donde el clima es desfavorable, invernaderos.

Esto, según algunos autores, tiende a limitar el cultivo a nivel comercial a unas cuantas especies con un precio relativamente alto en el mercado; mientras otros señalan que, si bien los gastos iniciales son elevados se pueden equiparar a los gastos en maquinaria agrícola como tractores, arados, etc., y al mayor terreno virgen que se necesita transformar para cultivar en suelo, etc., y que además, como los costos de producción y mantenimiento son más bajos en hidroponía, resulta más económico; es decir se obtienen más beneficios monetarios (entre 25 y 40% de lo invertido). Después de la amortización normal de capital. Desde luego que existen muchos cultivos (cereales, leguminosas de grano, plantas perennes, etc.) que definitivamente no desquitan su presencia en las instalaciones hidropónicas. Debe ser, en última instancia, una investigación analítica de rendimiento y costos la que determine qué plantas son las que en lo económico conviene cultivar con el sistema de hidroponía, en una localidad determinada.

En los últimos años, la aparición de los plásticos (polietileno, polivinilo, acrílico, etc.) ha

permitido desarrollar métodos de cultivo en hidroponía, cuya instalación, sin perder efectividad en lo técnico, es mucho más económica.

Las soluciones que se han dado al problema del alto costo en otras partes del mundo, han sido de carácter local, es decir, la instalación se hace diferente para cada lugar y cada conjunto de condiciones ya que los precios, materiales, climas y necesidades varían mucho no sólo entre países, sino aún en regiones diferentes de un mismo país. Por ello, para cada localidad o región se deberán buscar las modalidades de hidroponía más adecuadas en el aspecto económico.

Esta desventaja no se aplica, desde luego, a instalaciones a pequeña y mediana escala, porque no requieren de mucho equipo y las instalaciones se pueden hacer muy sencillas y con materiales baratos y de desecho, además de que se pueden ampliar progresivamente.

Se requiere cuidado con los detalles: muchos de los fracasos en hidroponía a nivel comercial se han debido al descuido de algunos detalles, como el de no mezclar correctamente la solución nutritiva, usar tubería o depósitos galvanizados, lo que ocasiona toxicidad por zinc, darle demasiada o muy poca pendiente a las camas provocando asfixia en las raíces por humedad constante, no usar las cantidades adecuadas de micronutrientes, el no mantener el pH de la solución dentro de cierto rango, no analizar el agua utilizada para preparar la solución, etc.

Desde 1978 los autores han venido desarrollando métodos hidropónicos de cultivo que sin perder su efectividad requieren de una menor inversión y de un menor grado de destreza técnica. La finalidad es lograr que la hidroponía sea accesible a más gente.

3.- Se necesita conocer y manejar la especie que se cultive en el sistema: como en cualquier método de cultivo el desconocimiento de la planta y de su manejo es uno de los principales factores que ocasiona fracasos o mínimos rendimientos.

4.- Problemas potenciales de comercialización: una limitante para la extensión de la hidroponía (cuando no se usa sólo como una herramienta para la subsistencia), es la necesidad de contar con un mercado seguro y que garantice un precio mínimo, pues en la alta redituabilidad se basa la idea de hacer una inversión relativamente elevada para la instalación del sistema.

En la actualidad existe un amplio mercado internacional, principalmente Estados Unidos y Canadá (y a menor escala, nacional) para varios productos hortícolas y ornamentales, que ofrecen muy buenos precios demandando a cambio calidad y sanidad, condiciones ambas que se pueden lograr mejor en hidroponía. Sin embargo, hay que enfatizar que se debe resolver el problema de los canales de comercialización y de los precios mínimos, antes de hacer extensiva esta técnica.

4.- Requiere de un abastecimiento continuo de agua: desde luego que esta situación limita hasta cierto punto al cultivo hidropónico, pero es necesario resaltar que limita mucho más la agricultura de riego ya que en esta última se necesita más agua que la indispensable para mantener a un sistema hidropónico de las mismas dimensiones.

### **Importancia de la hidroponía**

Varios autores coinciden en que la hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola, tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Los autores consideran que dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones (ecológicas, económicas y sociales) y para diversos usos.

A continuación se explican algunas de estas condiciones y usos. Se hace la aclaración de que cada ejemplo queda enmarcado dentro de uno o más de los contextos mencionados anteriormente, y contribuye en mayor o menor grado a resaltar la importancia que tiene y puede tener este sistema de producción. Entonces, el sistema puede utilizarse ventajosamente.

1.- Para producir alimentos en zonas áridas: en estas regiones, donde las fuentes de agua son limitadas, se exige el uso más eficiente de la misma. Dado que con la hidroponía es posible recircular el agua y evitar su pérdida por evaporación, se considera que casi sólo se pierde la que se transpira. Bentley (1955) considera que sólo se pierde aproximadamente 20 veces menos agua en hidroponía, que cuando se trabaja con un sistema de producción con riego normal en suelo. Entonces, el sistema de cultivo hidropónico puede contribuir parcial pero eficazmente, como de hecho está sucediendo en Israel, Kuwait, Arabia, etc., a solucionar el problema de producir vegetales en las zonas áridas

2.- Para producir en regiones tropicales: bajo condiciones de clima cálido-seco, el sistema hidropónico resulta ventajoso para la producción de numerosos cultivos, por no requerir de gastos en invernadero ni estructuras semejantes.

Bajo condiciones de clima cálido-húmedo es sabido que muchas especies de plantas cultivadas en suelo no prosperan satisfactoriamente, debido principalmente a lluvias lixiviadoras durante casi todo el año, mismas que empobrecen el suelo, dificultan el drenaje y el trabajo con maquinaria, favorecen el desarrollo de enfermedades, etc.

La hidroponía en estos casos, como se demostró prácticamente en Cuba, Puerto Rico, las Bahamas, Florida, Tanzania, etc.- es un sistema para producir económicamente en los trópicos, ya que al manejarse propiamente, elimina en gran medida los problemas mencionados. Esto lleva la ventaja adicional de que, debido a lo intensivo del sistema, en una décima de hectárea se puede producir lo que en una hectárea bajo otro sistema, situación que al final significa menor alteración, por desmonte, del valioso recurso selva, que según la opinión de muchos ecólogos y agrónomos es mucho más valioso conservarla intacta mientras no se le explote eficientemente.

3.- Para producir bajo condiciones de clima templado y frío: en la mayoría de las regiones con climas templado y frío hay pocos cultivos susceptibles de explotarse económicamente. Generalmente en estos casos se opta por la importación o bien por la producción en invernadero, que por lo caro de su construcción, sólo es aplicable para algunos cultivos muy redituables, susceptibles de proporcionar varias cosechas al año. Con un sistema hidropónico bajo invernadero -como los ensayados con éxito, a nivel comercial en Canadá, Inglaterra, Rusia, China, Argentina, etc.- es posible aumentar los beneficios económicos de su utilización debido, principalmente, a la reducción en los costos de producción; al mayor rendimiento por unidad de superficie y a la gran precocidad que manifiestan los cultivos. También se debe tomar en cuenta la posibilidad de producir cosechas fuera de estación, lo que permite lograr mejores precios, en el mercado.

4.- Para producir en lugares donde el agua tiene un contenido alto de sales: existen localidades en las cuales hay agua suficiente, pero que no pueden utilizarse para el riego debido a su alto contenido en sales. En hidroponía, si se cuenta con un análisis químico de ésa agua, es posible hacer la solución nutritiva añadiendo sólo aquellas sales que

hacen falta para balancearla. Por ejemplo, en una instalación comercial para producir crisantemos, ubicada en Alpuyecá Morelos, se utilizó el agua de un río con un alto contenido de sales de calcio y de magnesio. Al preparar la solución nutritiva se tuvo cuidado de no usar fertilizantes que tuvieran esos elementos en su composición. No se presentaron síntomas de deficiencia o exceso de estas sales, e inclusive hubo ahorro de fertilizantes.

Para producir en aquellos lugares en donde no es posible la agricultura normal debido a limitantes de suelo, tales como: salinidad, erosión, pedregosidad, rocosidad, arcilla, tepetate, con pendientes fuertes, etc.

En general, bajo estas condiciones, con la agricultura normal y aun contando con riego, los rendimientos son muy pobres. Con hidroponía no sólo es posible producir con altos rendimientos sino que también contribuye en mayor o menor grado, al restablecimiento del suelo, lo que es sumamente esencial desde los puntos de vista ecológico y económico.

5.- Para producir en lugares donde es peligroso el cultivo tradicional debido a que el suelo es fácilmente erosionable: en general se puede considerar a la hidroponía como ventajosa en las categorías 111 a VIII de la clasificación de la *aptitud de uso del suelo* utilizada por *DETENAL*.

En lugares con exceso de pendiente se puede producir hidropónicamente ya sea al aire libre o bajo invernadero, con la construcción de terrazas, a la vez que se promueve la reforestación. Hay inclusive sistemas hidropónicos en los que las terrazas son una ventaja por permitir el uso de la misma solución nutritiva en varias tinas. Lo que significa un ahorro en la construcción de los depósitos, bombas, etc.

6.- Para producir hortalizas en las ciudades: trabajando la hidroponía en pequeña escala, a nivel de huertos familiares, se considera que dado lo intensivo del sistema, se pueden obtener hortalizas en azoteas, jardines, patios, terrazas, etc., a más bajo costo de lo que significa comprarlas, además de que se gana mucho en frescura, calidad, higiene y satisfacción personal. Por consiguiente, un trabajador de sueldo modesto estará menos expuesto a las continuas y ya tradicionales devaluaciones. Esto, desde luego, a gran escala, redundaría junto con parques, jardines y zonas arboladas, en una mejora en la calidad del aire. Es también perfectamente factible y económicamente viable que las grandes tiendas comerciales puedan producir hortalizas en hidroponía en invernaderos o

al aire libre, en las azoteas de las mismas, con lo que podrían vender a mejor calidad y a más bajo costo.

7.- Para producir hortalizas donde son caras y escasas: en efecto, la hidroponía será redituable en localidades en donde por no existir las condiciones agrícolas necesarias para producir una determinada hortaliza, ésta es escasa y de precio elevado; aunado a esto destaca la flexibilidad del sistema, que puede programarse tan pequeño o grande como se desee y por tanto ajustarse de acuerdo a la demanda del mercado.

8.- Para producir flores y plantas ornamentales: si esto se hace en localidades que presentan una o más de las limitantes anteriormente mencionadas, se puede lograr, en zonas poco productivas, la generación de divisas para el país a través de la exportación de estos productos. Produciéndose, también para el mercado nacional.

9.- Para producir las plantas medicinales o los aceites esenciales de mayor demanda: muchas de estas plantas son difíciles de cultivar, por requerir de condiciones climáticas y edáficas muy especiales; algunas de estas condiciones pueden ser proporcionadas con la hidroponía, además de poderse aumentar en muchos casos el rendimiento del producto activo.

9.- Para la producción intensiva de forraje: en los últimos años se desarrollaron con éxito sistemas hidropónicos para producir intensivamente forraje bajo condiciones controladas de tal manera que en cuartos de  $9\text{ m}^2$  o  $27\text{ m}^3$  se puede producir económicamente forraje de primera calidad para aproximadamente veinte vacas durante todo el año. Este tipo de sistemas puede tener importancia en regiones donde la época seca o la fría o ambas, sean muy prolongadas, con la consecuente escasez de forraje verde durante una gran parte del año.

10.- Para producir semilla certificada: en efecto, en hidroponía se produce, con mayor rendimiento por unidad de superficie, semillas que normalmente son de precio elevado y que actualmente se importan con la consecuente fuga de divisas.

Para producir algas: la producción artificial de algas, como fuente de proteínas para la alimentación humana y como forraje para animales útiles, ha cobrado importancia en los últimos años, y se han hecho serios esfuerzos para producirlas comercialmente. En la actualidad se desarrollan métodos hidropónicos muy promisorios para la producción comercial de algas comestibles.

11.- Para semilleros o almácigos: la hidroponía puede ser de gran valor en producción de esquejes o plántulas libres de enfermedades, por ejemplo: jitomate, crisantemo, tabaco, lechuga, cebolla, chile, etc.

12.- Para realizar investigaciones fisiológicas: por ejemplo, en la investigación de problemas nutricionales en el suelo, ocurre que los factores edáficos pueden ocultar o distorsionar los efectos de una deficiencia o un exceso de un nutrimento. En este sentido la hidroponía contribuirá a la determinación del verdadero efecto y dará a conocer claramente los síntomas de una deficiencia o exceso nutricional.

13.- Para realizar investigaciones ecológicas: por ejemplo, bajo condiciones de campo es muy difícil determinar la verdadera influencia que un factor climático tiene sobre el rendimiento de un cultivo, con base a los demás factores ambientales (climáticos, edáficos), que actúan conjuntamente con él, están modificando su verdadera influencia. Con un sistema hidropónico, toda la variación debida a los factores edáficos puede ser prácticamente eliminada, y entonces las variaciones en el rendimiento serán debidas a los factores climáticos. Manteniendo los principales factores climáticos constantes (fitotrón, cámara de ambiente controlado, invernadero con equipo especial) y haciendo variar aquél que en ese instante se estudie, es posible aislar y ponderar el efecto sobre el rendimiento. De este modo se obtiene información que en un momento dado puede aclarar una situación compleja de campo.

14.- Para realizar investigaciones genéticas delicadas: si se parte nuevamente de que se pueden, en cierta medida, controlar los principales factores climáticos y usándose la técnica hidropónica es posible controlar también las variaciones en el fenotipo debidas al complejo suelo, es posible entonces determinar aisladamente los efectos de poligenes y otros tipos de genes cuya expresión es influida por el medio. Cuando los estudios genéticos se realizan bajo condiciones controladas, las consecuencias fisiológicas de las diferencias genotípicas pueden investigarse por completo; existe, además, la posibilidad de estudiar con más precisión la fisiología del núcleo y el proceder del cromosoma.

15.- Como herramienta para la enseñanza: la hidroponía será sumamente útil en el estudio de los fundamentos de la vida vegetal. La botánica en sus aspectos fisiológicos, ecológicos y quizá genéticos, será mucho más amena e interesante si se enseña desde un punto de vista práctico, al trabajarse, entre otras cosas, con una pequeña instalación

hidropónica, manejable por los propios estudiantes, promoviéndose así su actividad creativa.

16.- Como fuente de trabajo para personas incapacitadas: personas interesadas en la horticultura que, por algún defecto físico o por su avanzada edad, son incapaces de llevar a cabo las pesadas labores hortícolas que implica el cultivo en suelo (barbechos, surcados, deshierbes, fertilizaciones, riegos, etc.), serán sujetos productivos al trabajar en un sistema hidropónico.

17.- Como una fuente más de ocupación de mano de obra no calificada: ya se planteó esta posibilidad como una ventaja de la hidroponía, pero es necesario destacar la importancia social que esto tiene en un país donde la mano de obra no calificada y desocupada o subocupada es tan abundante.

Contrariamente a lo que sucede con los sistemas intensivos de producción en suelo, que por el uso de maquinaria desplazan a un gran número de trabajadores generalmente hacia las ciudades, la hidroponía -al ser aún más intensiva- tiende a concentrarlos en el campo, y a proporcionarles trabajo bien remunerado durante todo el año.

18.- Para contribuir en la solución del problema de la conservación de recursos y de la contaminación ambiental: normalmente los sistemas de producción intensivos en suelo, en lugares inadecuados, dan lugar a serios problemas de erosión y contaminación. La hidroponía, aunque se trate de un sistema de producción más intensivo, no sólo no ofrece riesgos de erosión, sino que incluso se le utiliza como una herramienta de conservación al mismo tiempo que se produce con la ventaja adicional de que prácticamente no contamina al ambiente.

No se quiere dar a entender con todos los aspectos aquí mencionados que la hidroponía es una panacea que puede sustituir a la agricultura tradicional; simplemente son evidencias sobre sus ventajas para aquellas situaciones en donde la agricultura normal es difícil o imposible. En este sentido, la hidroponía no viene a sustituir a la agricultura sino a complementaria.

## Principios de la hidroponía

La teoría y la práctica de la hidroponía están basadas en principios científicos comprendidos dentro de varias disciplinas básicas, tales como: la física, la química y la fisiología vegetal; así como también dentro del campo de la agronomía aplicada (horticultura, combate de plagas y enfermedades, etc.).

Las plantas, así como los seres vivos; están expuestos desde el mismo momento en que nacen, e inclusive antes, a las diversas y cambiantes, condiciones que el medio les impone. Si se siembran semillas del mismo genotipo en varios ambientes, se notarán diferencias en el fenotipo de las mismas, de un ambiente a otro; de manera similar, si se siembran plantas con distinto genotipo en el mismo medio se obtendrán diferentes fenotipos de acuerdo a las diferencias genéticas existentes entre una planta y otra. Estas relaciones se simbolizan con la siguiente ecuación:

$$V_f = V_g + V_e + V_{ge} \quad (1)$$

donde:

$V_f$  = Variación en el fenotipo o varianza fenotípica

$V_g$  = Variación en el genotipo o varianza genética

$V_e$  = Variación en el medio o varianza ambiental

$V_{ge}$  = Variación o varianza de la Interacción genotipo-ambiente

Ahora bien, una de las expresiones del fenotipo de una planta que más interesa al agrónomo y al campesino, es el rendimiento en cualquier forma que éste se exprese (peso seco, peso fresco, grano, fibra, forraje, aceite, producto bioactivo, etc.). Es el rendimiento de una planta, el indicador final de las relaciones, tanto favorables como desfavorables, que sostuvo el genotipo de dicha planta con el medio ambiente durante todo su ciclo de vida. Si consideramos como varianza fenotípica exclusivamente a la variación en el rendimiento se podría modificar convencionalmente a la ecuación anterior como sigue:

$$R = I_g + I_e + I_{ge} \quad (2)$$

Donde:

R = Rendimiento de una planta

Ig = Influencia del genotipo

Ie - Influencia del medio ambiente

Ige - Influencia de la interacción genotipo-ambiente

Es decir; el rendimiento de una planta está representado por la suma de las influencias de su genotipo, más la del medio ambiente que la rodea, más la influencia de la interacción de las dos anteriores.

En este sentido para un mismo genotipo (reducción de la varianza fenotípica y de la interacción genotipo-ambiente a cero), el rendimiento de una planta o cultivo estará únicamente en función de la componente ambiental.

Tenderá a disminuir a medida que uno o más factores ambientales propenden a volverse críticos ya sea por deficiencia o por exceso.

Por el contrario, entre menos factores ambientales sean críticos, el rendimiento tenderá a aumentar.

El complejo medio ambiente puede ser dividido arbitrariamente para fines de análisis en tres componentes principales: clima, suelo y factores bióticos. Si en la ecuación (2) se sustituye al ambiente por sus componentes y se considera que la varianza genotípica es cero (uso de material genéticamente homogéneo) entonces:

$$R = I_c + I_s + I_{fb} + 0 \text{ : } * (3)$$

donde:

R = Rendimiento

le = Influencia de los factores del clima

ls = Influencia de los factores del suelo

lfb - Influencia de los factores bióticos

\* o: = Símbolo que representa a la influencia de la sumatoria de todas las interacciones posibles de los componentes anteriores.

De acuerdo con la formula anterior el medio ambiente óptimo y por lo tanto el máximo rendimiento para un cultivo genéticamente homogéneo, se tendrá cuando los factores del clima, del suelo y del complejo biótico sean óptimos para dicho cultivo.

Cuando se compara el rendimiento de un cultivo al aire libre, con el del mismo cultivo, pero bajo condiciones de invernadero y usando el mismo sustrato, es de esperarse un rendimiento mucho más alto en el segundo caso, ya que casi siempre las condiciones de clima se acercan más al óptimo del cultivo (pudiendo incluso ser controladas en cierta medida).

Lo mismo se puede decir de dos poblaciones homogéneas de plantas sometidas a distinto tipo de suelo pero bajo un mismo clima y complejo biótico. El mejor rendimiento se logrará en el suelo que reúna las características más adecuadas para que el genotipo de las plantas se exprese con mayor intensidad.

La hidroponía es un sistema de cultivo que tiene por objeto optimizar las funciones que el suelo desempeña, es decir, proporcionarle al cultivo un sustrato con las condiciones más idóneas desde los puntos de vista físico, químico y fitosanitario, eliminando a su vez la acción de todos aquellos factores que en el suelo, por su naturaleza, lo llevan inevitablemente a modificaciones que se traducen en limitantes para el desarrollo de los cultivos (por ejemplo: salinización, pérdida de la textura, etc.).

Explicitando lo anterior, en hidroponía se trata de proporcionar a la planta un sustrato con las características siguientes:

Excelente aireación

Excelente drenaje

Un continuo y fácil suministro de agua

Una nutrición totalmente controlable durante todo el ciclo de vida de las plantas y

adaptada a las cambiantes exigencias que las diferentes especies presentan durante las distintas etapas de su desarrollo

Estéril y fácilmente esterilizable

pH controlable

De fácil manejo, para evitar las labores que bajo cultivo en suelo son las más pesadas (preparación del terreno, abonado, deshierbes, irrigaciones, etc.

Que admita la posibilidad de regular su propia temperatura mediante el calentamiento de la solución nutritiva

En síntesis, los principios científicos en que descansa la técnica hidropónica son aquellos de los que se desprende el objetivo básico de proveer a las plantas las condiciones (fundamentalmente-edáficas) óptimas para que manifiesten al máximo su potencial genético

### **Estructura del sistema hidropónico**

Cualquier método de cultivo en hidroponía consta de los componentes siguientes: plantas, solución nutritiva, contenedores, sustrato, sistema de riego y drenaje.

Plantas: Aunque técnicamente en hidroponía, se puede cultivar cualquier vegetal, en la práctica comercial sólo se manejan cultivos de alto valor; principalmente flores y otras ornamentales, hortalizas y plantas medicinales.

Los cereales se cultivan sólo como germinados para la producción superintensiva de forraje verde.

Solución nutritiva: es la disolución de diversos fertilizantes (o nutrimentos) en el agua, con la que se riegan las plantas, y cuya función es proporcionar los nutrimentos requeridos por ellas en las proporciones adecuadas.

Contenedores: Son recipientes de distinto tamaño, forma y material, que contienen el sustrato en el que se cultivan las plantas. Las tinas generalmente se construyen de forma rectangular con una profundidad de 20 a 30 cm y con un ancho que oscila entre los 20y 120 cm dependiendo de la planta, el método de cultivo y el sistema de riego. Con tinas de más de 120 cm de ancho se dificulta mucho el trabajo. El largo de las tinas es muy variable ya que puede ser desde un metro para huertos familiares o cultivos especiales,

hasta 50 m o más en escala comercial. Schwarz (1975), menciona entre 25 y 50 metros de largo como lo más adecuado. De acuerdo con el método que se emplee, las tinas se pueden construir de materiales como: concreto, cemento, asbesto, madera, lámina de fierro galvanizada o sin galvanizar, lámina de aluminio, poliéster, acrílico, cemento, ladrillo, polivinilo, polietileno, cartón asfaltado, etc.

## **UNIDAD DE APRENDIZAJE II SISTEMA DE PRODUCCION EN SEMIHIDROPONIA**

### **Objetivo**

El alumno será capaz de reconocer el sistema de producción en semihidroponia en contenedores y sabrá aplicarlo así como sus necesidades de producción.

Con excepción de los plásticos y el cartón asfaltado, etc., los demás materiales deben impermeabilizarse, ya que, por ejemplo, el cemento o el concreto reaccionan con la solución nutritiva alterando su composición química y su pH; con la lámina galvanizada el zinc de ésta se ioniza en la solución pudiendo ocasionar toxicidad en las plantas, mientras que la lámina de fierro sin galvanizar se oxida fácilmente. Lo más barato para impermeabilizar es la pintura bituminosa (de asfalto o chapopote), o una hoja de polietileno flexible. En el caso de usar otro impermeabilizante se deberá estar seguro de que sea químicamente inerte para que, al entrar en contacto con la solución nutritiva, no cause intoxicación a las plantas o a las personas que coman de esas plantas.

Dependiendo también del método de cultivo hidropónico que se utilice, las tinas se construirán impermeables o permeables. En este último caso la solución nutritiva no será recirculada.

Para algunos cultivos y en determinados casos, puede ser preferible utilizar macetas, en vez de tinas, mismas que pueden ser de barro, cemento, madera, lámina, polietileno, etc. En este caso el riego se efectúa generalmente por goteo, por aspersion en el sustrato (un aspersor por maceta), por capilaridad, o simplemente con regadera.

Para la producción de jitomate en sistema de hidroponía se puede usar cualquier

contenedor que garantice el espacio suficiente para el desarrollo de las raíces de la planta así como un buen drenaje; no debemos perder de vista que sean lo más económico posibles y fácil de manejar.

La plantación en bolsas de polietileno se ha vuelto muy común en las plantaciones de jitomate, sobre todo por su bajo costo y fácil manejo, la capacidad debe ser de 18, 15 Y 10 litros, siendo las de 18 litros las más recomendables. Las bolsas de polietileno negro de preferencia deben ser de calibre 700, tratado contra rayos ultravioleta para garantizar su durabilidad de al menos cuatro ciclos de producción, y sus dimensiones serán de 50 x 50 cm, 40 x 45 cm, o de 40 x 40 cm. En la base de las bolsas deben realizar de 6 a 10 perforaciones de 0.5 cm de diámetro para que drene el exceso de agua o solución nutritiva del sustrato.

También se pueden utilizar bancales de diferentes materiales, en este caso la plantación se hará en camas, los más materiales más utilizados han sido de madera en lugares donde esta se tiene disponible, de lámina de asbesto o de concreto, estos tienen la ventaja de gran durabilidad, y se debe hacer un buen diseño desde el momento de la construcción de los mismos ya que se hace muy difícil cambiarlos una vez construidos.

Sustrato: su función es la de sustituir al suelo agrícola proporcionando a las plantas las más adecuadas condiciones edáficas para su desarrollo. Existe una gran variedad de sustratos que se pueden utilizar en hidroponía; entre los más usados se mencionan: arena, grava, tezontle, confitillo, ladrillos quebrados y/o molidos, agrolita, vermiculita, turba vegetal (*peatmoss*), lignito, aserrín, resinas sintéticas (poliuretano), cascarilla de arroz, carbón, etc.; también se ha usado como sustrato la mezcla de dos o más de ellos.

Puede también usarse la solución nutritiva como sustrato, proporcionándoles a la planta algún tipo de soporte. Este último caso da lugar al método llamado *cultivo en agua o acuacultura* que algunos autores consideran como la verdadera hidroponía. Una variante de este método es la denominada aeroponía, que se caracteriza porque las raíces de las plantas quedan suspendidas en el aire siendo irrigadas con atomizaciones periódicas de solución nutritiva.



Diferentes materiales para la siembra de jitomate

A Tepetzil; B Tezontle; C, Arena de río.

Para definir las ventajas e inconvenientes de manejar el cultivo en camas (bancales) o en bolsas, es importante tener en cuenta algunos aspectos, en general es más recomendado manejar el cultivo en bolsas o macetas individuales, ya que se tiene la ventaja disminuir las posibilidades de un ataque de enfermedades, por las características de los sustratos que generalmente son inertes y tiene alta capacidad de aireación, condición muy necesaria para evitar la presencia de enfermedades, además de requerir volúmenes de hasta el 30 % de sustrato comparado con lo que se utiliza en bancales, a medida que el riego sea más constante, el abastecimiento de los elementos minerales para la nutrición es más eficiente.

Sistema de riego: el riego en hidroponía puede ser por:

Inundación o vertido

Subirrigación

Aspersión

Goteo

Emisión localizada por microtubo

Capilaridad

Atomización a las raíces (aeroponía)

Cada uno de estos sistemas de riego tiene sus propios tipos de drenaje. En muchas ocasiones se utilizan soportes; su función es la de proporcionar sostén y guiar a las plantas que lo necesitan. Se pueden adaptar distintos tipos de soportes a las tinas dependiendo principalmente del cultivo, sustrato y método hidropónico de que se traten.

Los sistemas hidropónicos se pueden realizar a cielo abierto, en el caso de climas

benignos, o bajo cubiertas protectoras como lo son los invernaderos, a fin de propiciar las mejores condiciones climáticas posibles. Recuérdese que se trata de cultivos de alto valor y que, por lo tanto no deben quedar a expensas de las eventualidades meteorológicas.

### **Clasificación de los métodos de cultivo en semihidroponia**

Existe una gran cantidad de métodos diferentes para realizar un cultivo en hidroponia. Varios autores coinciden en agruparlos convencionalmente en cuatro categorías:

Cultivo en solución nutritiva: También se le ha dado los nombres de *cultivo en agua* y de *acuacultura*. Consiste en el crecimiento de los cultivos con sus raíces sumergidas parcial o totalmente en una solución que contenga todos los elementos nutritivos necesarios (incluyendo oxígeno disuelto).

Cultivo en agregado: comprende a todos aquellos métodos que utilizan como sustrato o la arena o a agregados que posean propiedades semejantes (v.gr: perlita, vermiculita, aserrín, etc.).

Cultivo en grava: esta categoría comprende, además de los tipos de grava comunes, a otros sustratos semejantes (de más de 2 mm de diámetro), como por ejemplo: ladrillo quebrado, carbón, tezontle y otros tipos de lava volcánica, etc.

Douglas (1976) menciona además otra categoría que denomina:

Técnicas misceláneas: comprende a un grupo de métodos de cultivo un poco diferentes a los comprendidos en las categorías anteriores; se puede mencionar por ejemplo, el de riego automático de macetas, el de cultivo de forraje en hidroponia, el de técnica de la película nutritiva, etc.

Cada una de las categorías anteriores abarca un determinado número de métodos que, en sí, no son más que diferentes modificaciones o simplificaciones diseñadas para incrementar la eficiencia, reducir costos o adaptar el sistema hidropónico a determinadas condiciones.

En general, se puede afirmar que no hay un método que sea el mejor bajo cualquier circunstancia. La elección de uno en particular depende de un conjunto de condiciones, entre las que destacan: el clima, la localidad, el mercado, limitaciones económicas, disponibilidad de sustratos y de mano de obra, etc.

## **Cultivo en solución nutritiva**

### Características generales

El cultivo en solución nutritiva recibe también los nombres de *cultivo en agua*, *acuacultura*, *quimicultura* o *nutricultura*.

Ellis y Swaney (1963) definen al cultivo en agua diciendo que en su sentido más puro es un sistema que involucra el crecimiento de flores y vegetales sumergiendo sus raíces en una solución acuosa de nutrientes".

El principio básico del cultivo en solución nutritiva es el de que las raíces de las plantas se desarrollen parcial o totalmente en un medio líquido que contenga todos los elementos nutritivos necesarios.

La tina está arreglada mediante un sistema de soporte para mantener erectas a las plantas mientras que las raíces se encuentran sumergidas en un tanque de solución nutritiva.

En otro método, considerado como más aceptable desde el punto de vista práctico, la tina contiene en su parte superior a una cama o lecho de algún material absorbente (generalmente orgánico) sostenido por una malla de alambre. El lecho tiene como funciones principales el servir de sostén a las plantas, retener la solución para usarse por la planta recién nacida, o bien para favorecer la germinación cuando se efectúe la siembra directa. Por debajo del soporte del lecho se encuentra el tanque de solución nutritiva en el que se sumergirá una parte de las raíces de las plantas ancladas en dicho lecho.

### Problemas técnicos

Los principales problemas técnicos del cultivo en solución nutritiva pueden sintetizarse en tres aspectos:

1.-Características nutricionales: aunque en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento (Buffer), y por lo tanto se requiere de un control, muy exacto, de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a los niveles de pH, fosfatos y fierro.

En general, las plantas son mucho más susceptibles a las condiciones adversas de pH de

la solución nutritiva bajo cultivo en agua, que en cultivo en grava o arena. Ellis y Swaney (1963) mencionan que "probablemente una razón para este efecto sea el que los fosfatos pueden recubrir las superficies de los medios sólidos de cultivo, ejerciendo con esto una acción estabilizadora de la acidez, de manera que cualquier cambio extremoso que ocurra en la solución no se reflejará rápidamente sobre las raíces de las plantas en contacto con las partículas de arena o grava". Será necesaria entonces una revisión constante del pH, hasta adquirir la suficiente experiencia para mantener la acidez en el nivel deseado. Como la solución va tendiendo hacia la alcalinidad, normalmente se agrega agua acidulada con ácido sulfúrico para restablecer el nivel adecuado de pH.

Si el nivel de fosfatos en la solución nutritiva es elevado, ocurre la precipitación excesiva de elementos menores, principalmente hierro. Esto es cierto con soluciones desbalanceadas, las cuales tienden hacia la alcalinidad rápidamente. Sin embargo, si hay un balance adecuado entre los iones ácidos y alcalinos en conjunción con un nivel de fosfatos lo suficientemente elevado para ejercer una acción amortiguadora a los cambios de pH, el problema no será tan serio.

El hierro es, a menudo, difícil de mantener en un estado asimilable en la solución nutritiva. Se sugieren, por lo tanto, frecuentes adiciones (una a dos por semana), en pequeñas dosis de alrededor de una parte por millón (ppm), para asegurar el abastecimiento adecuado de hierro sin llegar a la toxicidad.

Características físicas: para favorecer el crecimiento de las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas tales como:

2.- Oscuridad para la solución nutritiva: esto se hace necesario para evitar el crecimiento de algas verdes y otras plantas acuáticas diminutas que pueden competir por el oxígeno y los nutrientes. La descomposición posterior de las algas puede llegar a ser tóxica para las raíces, interfiriendo con sus funciones y desarrollo.

3.-Aireación: el éxito que se obtenga con este sistema de cultivo hidropónico depende en gran parte del suministro adecuado de oxígeno para las raíces de las plantas a través de la solución nutritiva. Algunos trabajos publicados y observaciones prácticas, indican que el exceso de aireación a la solución puede también ser dañino para las plantas. Ellis y Swaney (1963) consideran que el nivel del oxígeno más adecuado en la solución nutritiva es de 3 a 5 ppm (a 15.5°C).

El suministro de oxígeno puede ser natural, o bien, forzado de diversas maneras.

El método más común de oxigenar la solución consiste en dejar un espacio de aire entre

la superficie de la misma y la parte inferior del lecho que soporta a las raíces, de tal manera que las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución. Para aumentar el abastecimiento de aire, a medida que crecen las raíces, el nivel de la solución se va bajando, hasta dejar un espacio máximo de 5 cm. Un espacio mayor puede dañar por secamiento a las raíces superiores.

También es usual forzar oxígeno en la solución, haciendo pasar burbujas de aire a través de ella mediante una bomba de aire conectada a un tubo con perforaciones (de 1 mm de diámetro y 30 cm de separación), que recorre el fondo del tanque. El volumen de aire necesario depende principalmente del volumen de solución, de la temperatura y la clase de planta. Por lo general de 5 a 10 burbujas por minuto por perforación son suficientes, o bien 10 a 20 burbujas por minuto durante 15 minutos cada hora (ver figura 4.7). Para tinas o recipientes caseros, las bombas de acuarios son adecuadas para oxigenar la solución.

Otra forma de airear la solución consiste en hacerla caer al aire libre desde una altura suficiente para que pueda oxigenarse debidamente (efecto de cascada); sin embargo la circulación de la solución debe ser lenta para no dañar a las raíces (ver figura 4.8).

Circulación de la solución nutritiva: es una práctica comúnmente recomendada, ya que favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. Es de suponerse que el movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su medio ambiente. Desde luego que el movimiento debe ser lo suficientemente lento como para no dañar a las raíces.

Hay que resaltar que el movimiento de la solución no basta para proporcionar una aireación adecuada, sino que se requiere de algún otro procedimiento para complementaria.

Calentamiento: algunos autores sugieren que para climas templados y fríos es conveniente calentar, aumentando entre 5 y 10° arriba de la temperatura nocturna, la solución nutritiva, con el objeto de acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuando se instalan sistemas de circulación, la solución nutritiva puede ser forzada a pasar a través de una fuente de calor. En unidades estacionarias el calentamiento puede ser a través de conductos eléctricos o de vapor.

El cambio brusco de temperatura del día a la noche, típico de los climas templados, puede ser un problema serio para el cultivo en agua ya que no hay ningún agregado que amortigüe su efecto sobre las raíces. Cualquier cambio de solución o agua que se añada a la misma solución, debe estar aproximadamente a la misma temperatura que la solución anteriormente presente. En una instalación grande será muy conveniente contar con un tanque separado con un sistema de calefacción para precalentar el agua o solución

nueva.

Lluvia: El agua de lluvia puede ser un problema muy serio ya que puede inundar las tinas o puede alterar la concentración de la solución. Se recomienda entonces, en lugares con precipitación de regular a alta, proteger a las tinas contra la lluvia.

Soporte para las plantas: en el método de cultivo en solución sin lecho de material absorbente, los problemas de profundidad del lecho, porosidad del material y retención de agua no se presentan. En este caso un tapón de hule o de corcho o un acolchonado de algodón no absorbente es suficiente para mantener a la planta en su lugar.

Para el método de cultivo en solución con lecho de material absorbente se debe considerar lo siguiente:

Profundidad del lecho: ella está determinada fundamentalmente por el tipo de raíz que presenta la planta en crecimiento. Plantas de reducido crecimiento radical no necesitan más de 5 cm de profundidad de lecho, mientras que otras pueden requerir hasta de 10 cm de profundidad de lecho.

Porosidad del material del lecho: La porosidad del material está relacionada con la incidencia de enfermedades; agregados muy finos permanecen mojados más tiempo y tienen más posibilidades de contaminarse. Sin embargo, el sistema radical es un factor importante a considerar en la elección del material; plantas como lechugas o zanahorias requieren un medio más fino que rosas o jitomate.

Retención de humedad del agregado: materiales que se secan muy rápido no son convenientes para las plantas cuyas semillas se siembran directamente en el lecho, porque afectan la germinación. Sin embargo, s{ son satisfactorios para aquellos cultivos susceptibles a las pudriciones de la corona. Quizá el mejor sustrato sea una mezcla de materiales *absorbentes* y *no absorbentes* de acuerdo a las necesidades específicas de cada cultivo.

# UNIDAD DE APRENDIZAJE III SISTEMA DE PRODUCCION EN RAIZ FLOTANTE

## Objetivo

El alumno será capaz de reconocer el sistema de producción en hidroponía en raíz flotante y sabrá aplicarlo así como sus necesidades de producción

## Técnica de raíz flotante

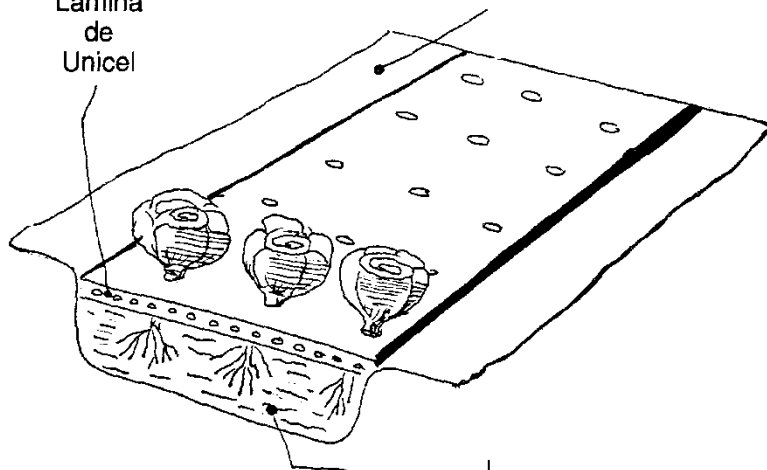
En este sistema de cultivo parte de las raíces permanece sumergida en la solución nutritiva, mientras que la parte aérea de la planta (tallo, hojas, etcétera) es sostenida sobre un medio inerte en que flota.

Esta técnica consta de tres etapas:

1. La primera se refiere a la germinación.
2. La segunda, al primer trasplante.
3. La

del  
el

Lámina  
de  
Unicel



tercera etapa consta  
segundo trasplante,  
crecimiento y la  
producción

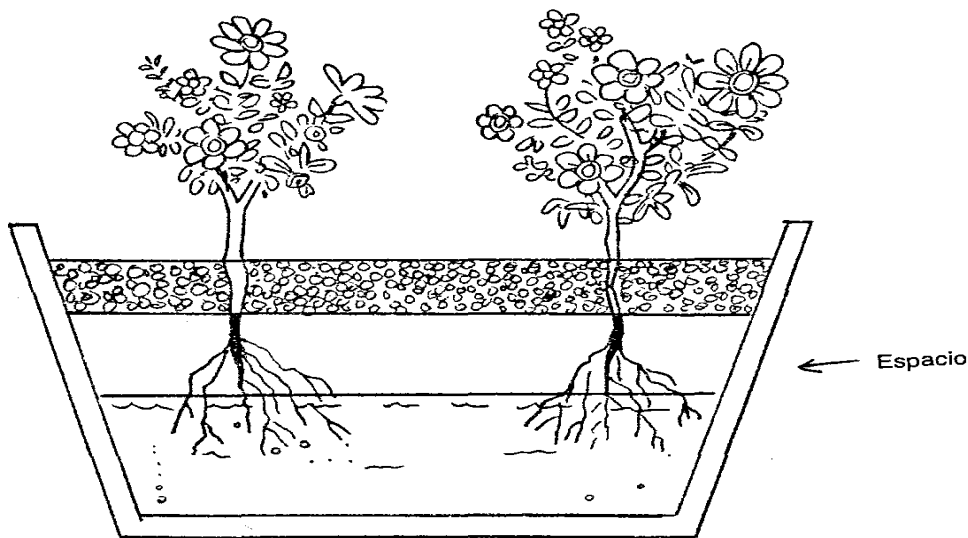
Cultivo de raíz  
flotante

invernadero

solución nutritiva

Plástico

de



El *primer trasplante* consiste en pasar las plántulas a una bandeja o contenedor que tiene la solución nutritiva. Estas plántulas se mantendrán sostenidas en los pequeños tramos de esponja en que germinaron; o, si germinaron en otro tipo de material, se colocarán en rectángulos de hule espuma, esponja o "tecnoport" a 4 ó 5 centímetros de distancia entre planta y planta-, en los que permanecerán durante 4 ó 5 semanas. Pasado este tiempo, se seleccionarán las plántulas más vigorosas para pasarlas al contenedor definitivo.

La última etapa es la del *segundo trasplante*.

El contenedor definitivo es un rectángulo que puede medir 1 m de ancho por 2 m de largo, con una profundidad de 15 centímetros o menos.

El material que servirá para cubrirlo y al mismo tiempo de soporte de las plántulas, puede ser de hule espuma o tecnoport pero tú puedes probar con cualquier otro material de características similares); pero, en cualquier caso, debe ser un material aislante de la temperatura, ligero y no muy grueso, pues tiene que flotar sobre la solución nutritiva, de tal manera que no se recomienda que tenga más de 1 pulgada de espesor.

A esta tapa que, como decimos, servirá para impedir el paso de los rayos solares a la solución nutritiva, y para sostener a las plantas se le harán unas perforaciones de 1.25 centímetros de ancho y a 20 centímetros de distancia entre una y otra. Tales agujeros los puedes hacer fácilmente si calientas un tubo galvanizado (de los que conducen el agua) y lo presionas contra el hule espuma; o también puedes hacerlos con unas tijeras.

Si el contenedor es grande, será conveniente cortar las placas en dos o tres partes, para evitar que el peso de las plantas quiebre la lámina.

Ahora bien, para trasplantar definitivamente las plantas se recomienda utilizar un trozo de hule espuma, envolver el tallo de la plántula y colocar ésta en el agujero de la plancha, de

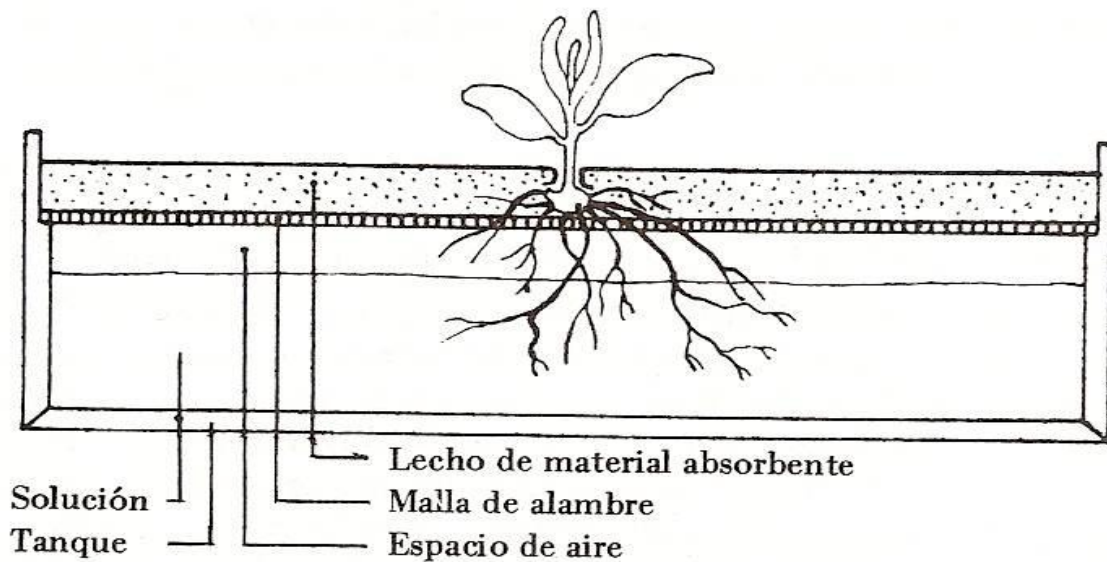
tal forma que la raíz quede en contacto con la solución nutritiva.

Finalmente, en cuanto a los *riegos*, no te preocupes: después de haber llenado el contenedor con la solución nutritiva sólo tendrás que vigilar el nivel de la solución y agregar agua natural periódicamente hasta que alcance el nivel inicial, pues ya sabemos que el agua se consume por evaporación y por la absorción que de ella efectúan las plantas. Y se ha de cuidar que el nivel de la solución no descienda a menos de 5 centímetros, y adicionar cada tres semanas solución nutritiva a tu contenedor.

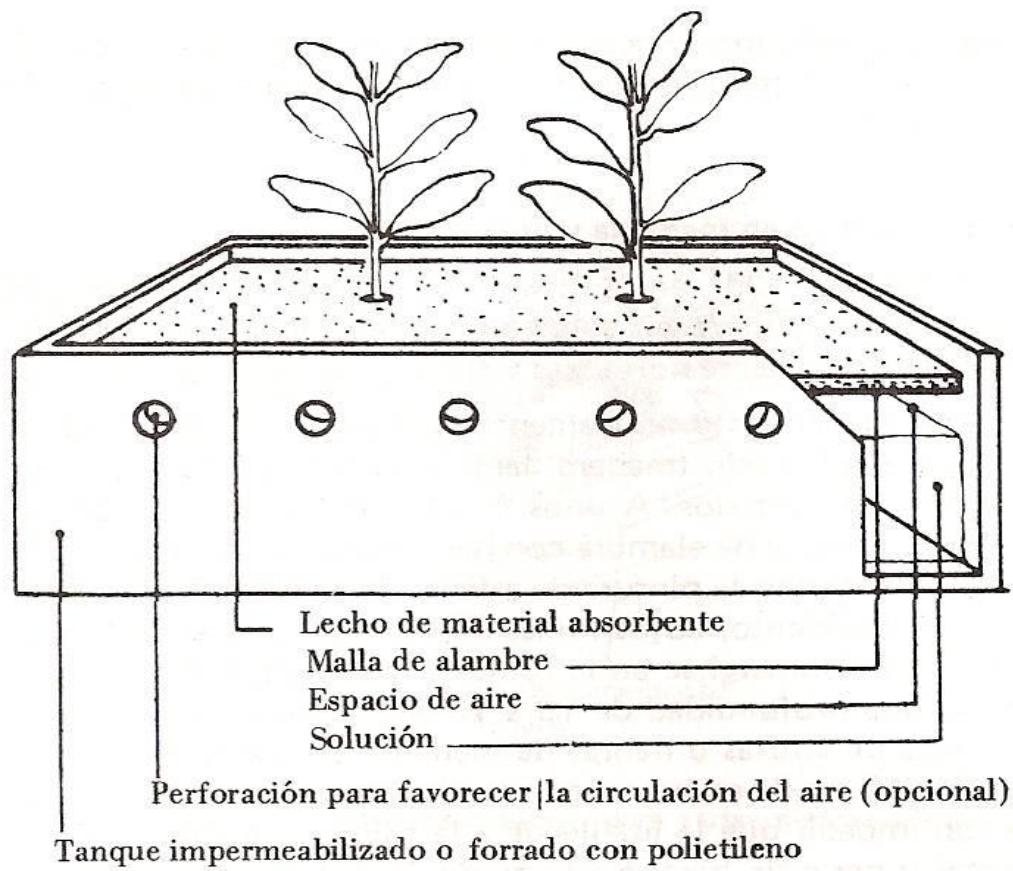
Por otra parte, la oxigenación de la solución nutritiva se puede lograr por diferentes medios, tal como se expone en el capítulo en el que hablamos de cómo aportar oxígeno a las plantas. Puedes, también, levantar también tu placa de "unicel" y agitar con la mano la solución dos veces al día.

Este sistema es particularmente recomendable para cultivar hortalizas como el apio, la lechuga, la albahaca, y otras variedades menores

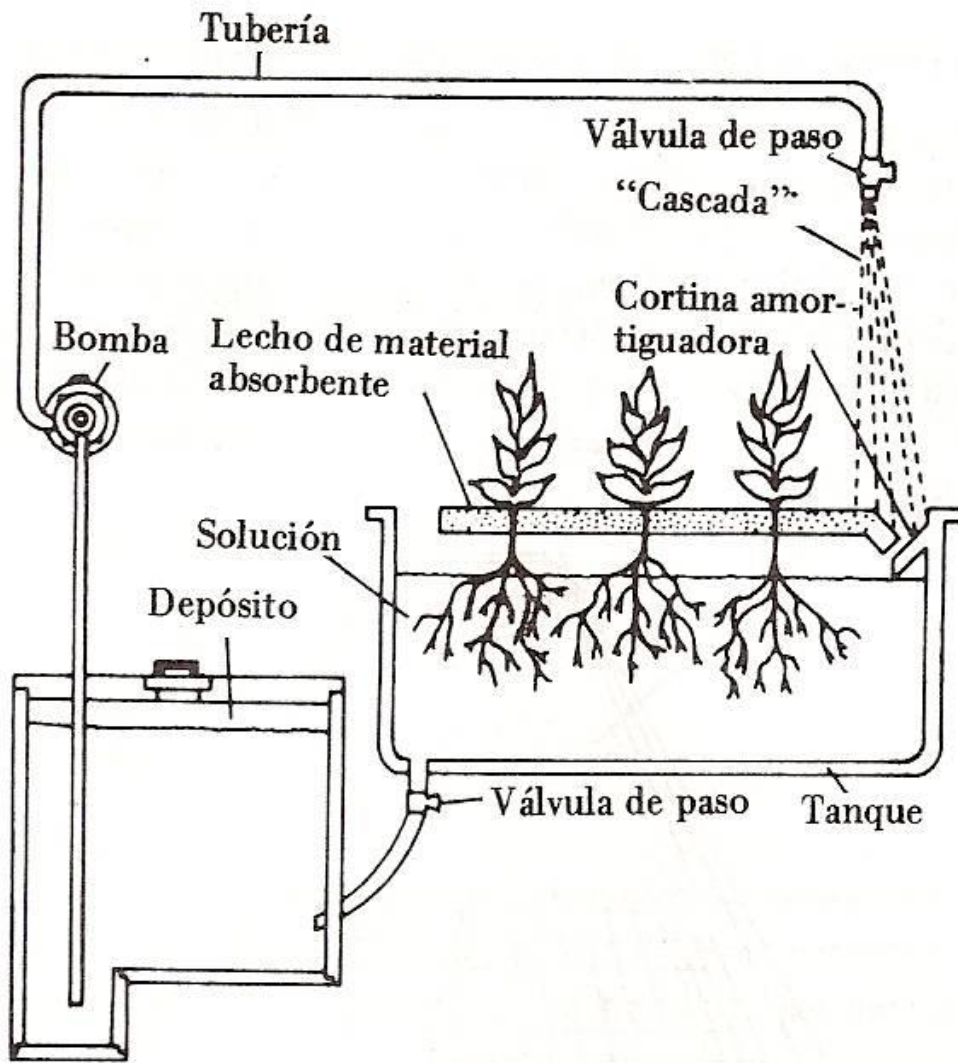
A)



B)



Método de Gericke para cultivo en solución, A) vista de perfil, B) vista de frente



Método de cultivo en solución con aireación de cascada de Penningfeld y Kurzmann

## **UNIDAD DE APRENDIZAJE IV SISTEMA DE PRODUCCION EN NFT**

### **Objetivo**

El alumno será capaz de reconocer el sistema de producción en hidroponía en NFT y sabrá aplicarlo así como sus necesidades de producción

### **La "Técnica de película nutritiva o NFT"**

Llamada también "Nutrient Film Technic", o NFT, por sus siglas en inglés

#### Principios generales

Digamos, primeramente, qué instalación es necesaria para este efectivo sistema de cultivo que se ha vuelto tan popular.

Se requiere lo siguiente:

- Cisterna o tanque recolectar.
- Canales de cultivo, o contenedores.
- Red de distribución o riego de la solución nutritiva.
- Bomba.
- Tubería colectora.

Este sistema consiste en hacer recircular en forma permanente una película fina constituida por una determinada cantidad de solución nutritiva. La cual permitirá tanto la respiración de las raíces (al aportarles oxígeno), como la absorción de los nutrientes y del durante el periodo vegetativo de la planta.

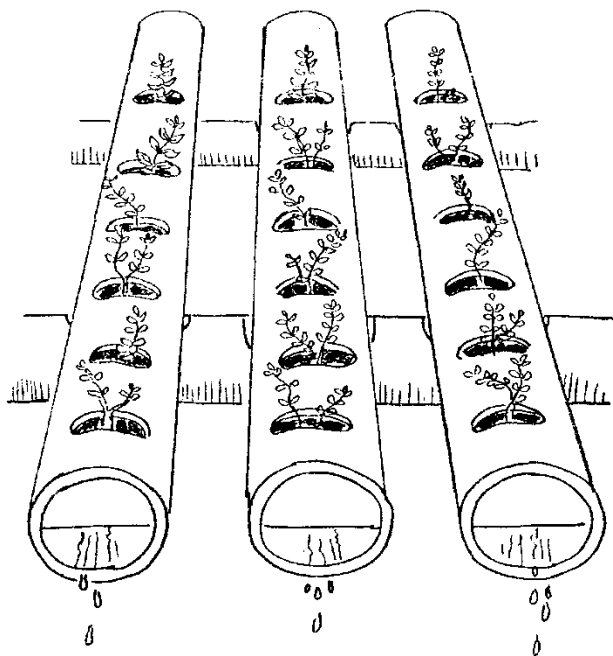
Esta película no deberá alcanzar una altura superior a los 5 ó 7 centímetros desde la base del contenedor, a fin de que, como acabamos de decir, las raíces tenga una aireación suficiente.

#### La película nutritiva

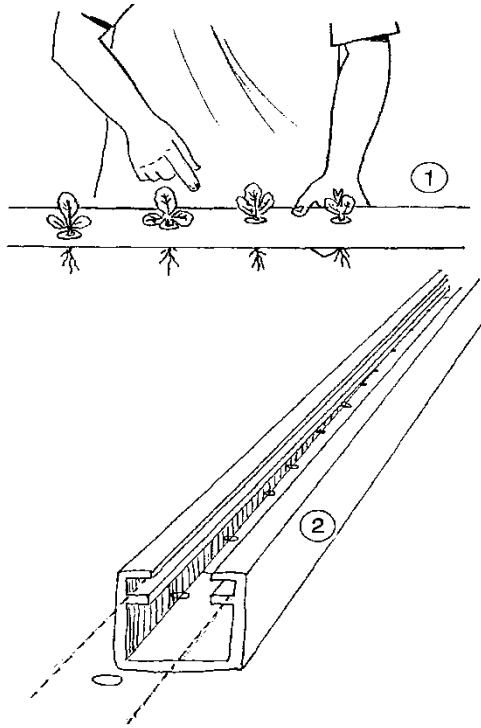
La razón principal de adoptar este sistema peculiar de cultivo hidropónico es la de que, al pasar la solución nutritiva circulante, esté siempre en estrecho contacto con las raíces. Éstas, en efecto, en su continuo crecimiento a veces llegan a formar una madeja o

bloque, llamado colchón radicular\*, que dificulta el paso de la solución y, por tanto, su absorción por parte de la planta.

Por eso, para asegurar el correcto manejo del flujo de la solución, se recomienda un flujo de 2 litros por minuto, lo cual asegura un aporte adecuado a las raíces de oxígeno, agua y nutrientes. Si, no obstante, el flujo comenzara a frenarse, el remedio consiste en aumentarlo a 3 litros por minuto



Técnica NFT en tubos de PVC



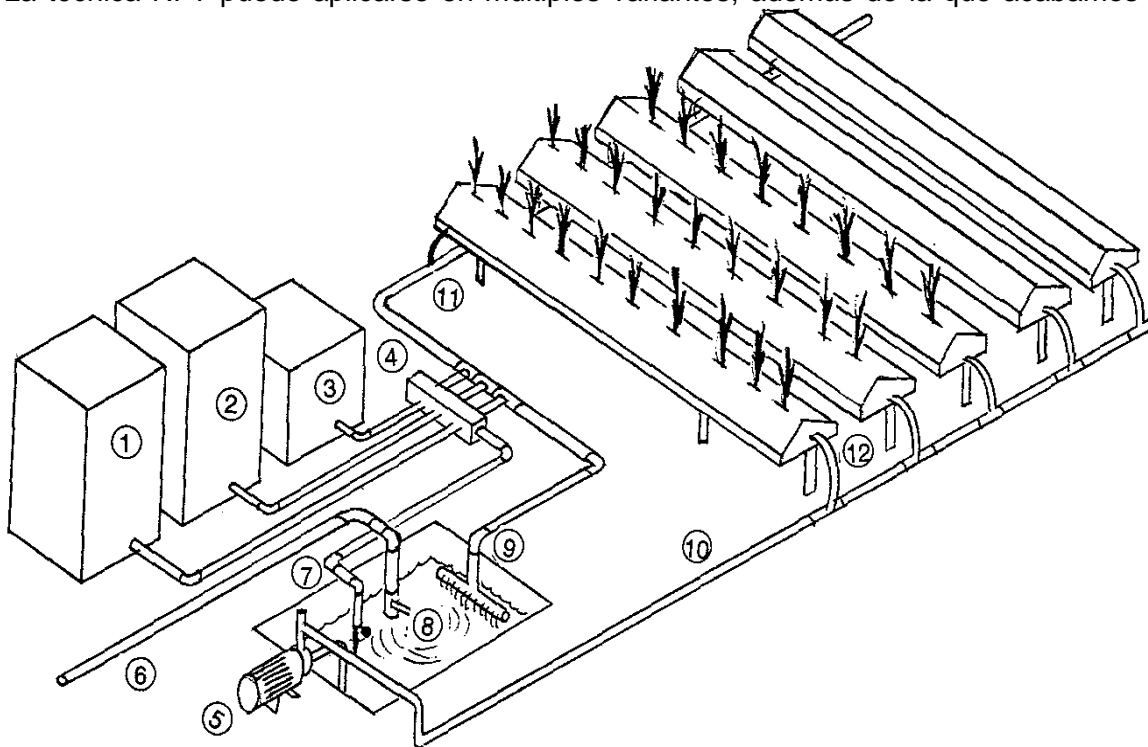
Sistema de NFT en tira de poliestireno: 1. Trasplante a tira de poliestireno; 2. Contenedor para tira de poliestireno.

### Los contenedores

Para este sistema se escoge un canal o serie de canales, cuya altura deberá ser el doble de la alcanzada por la solución nutritiva.

Si se usan canales de sección redonda como los obtenidos a partir de tubos de PVC, por ejemplo, de entre 3 y 6 pulgadas de diámetro, éstos pueden presentar alguna dificultad para conseguir una lámina de solución nutritiva circulante fina y uniforme; pero, sobre todo, las raíces no podrán expandirse a lo largo del canal. Por eso es mejor quizás utilizar canales de sección cuadrangular de dimensiones semejantes, para que hacer que la película nutritiva sea uniforme y las raíces puedan distribuirse de manera transversal a lo largo del canal.

En cuanto a la *inclinación* de los contenedores para este sistema, la pendiente longitudinal debe permitir una circulación correcta de la solución nutritiva en la cisterna o tanque de recolección. El desnivel óptimo se considera entre un 2 y un 3 por ciento; pues, si fuera del 5 por ciento, ello provocaría dificultades a las raíces, ya que la absorción no sería la adecuada. También puedes aprovechar la inclinación o pendiente transversal, si has colocado tu tanque recolector a un costado. En porcentaje de este desnivel será de un 2 a un 3 por ciento. En cuanto a la *longitud* de los canales de cultivo (el "largo" de los mismos) todo depende, como hemos dicho muchas veces, de la decisión que tú hayas tomado sobre lo largo o corto de tu instalación. Pero recomendamos una longitud no mayor a los 15 metros, pues se ha encontrado que si esta longitud se sobrepasa, comienza a escasear el oxígeno disuelto en la solución nutritiva. Pero si tu sistema de oxigenación funciona adecuadamente, nada impide que los alargues hasta donde quieras. La técnica NFT puede aplicarse en múltiples variantes, además de la que acabamos de

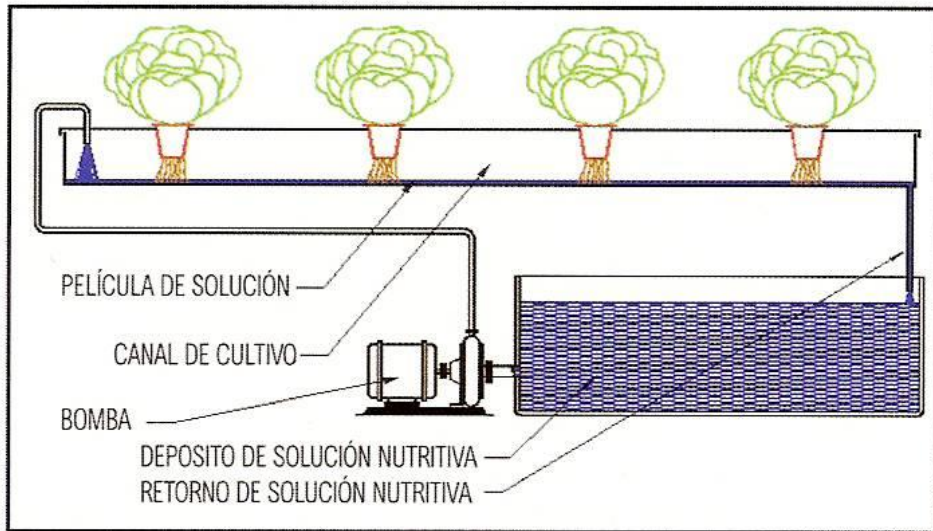


describir. Entre las más usuales, se cuenta con: multicanales con tanques de reciclado; canales con o sin soporte de sustrato; NFT en canales individuales; NFT para cultivo en sacos o costales, y otras más.

Sistema completo de NFT en canales: 1. Tanque de macronutrientes; 2. Tanque de micronutrientes; 3. Tanque controlador de pH; 4. control de suministro de nutrientes; 5. Bomba de alimentación; 6. Suministro de agua; 7. Sensores de pH y conductividad eléctrica; 8. Flotador; 9. Tubo de aireación; 10. Tubería de abastecimiento al sistema; 11. Tubería de retorno; 12. Ramales de alimentación.



*Una de las ventajas que ofrece el sistema NFT es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, de agua y oxígeno*

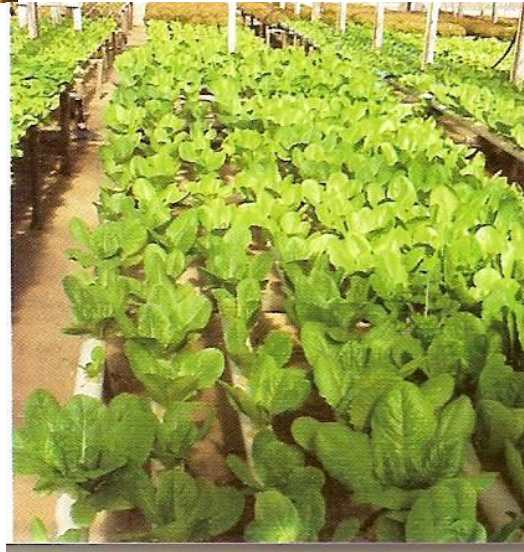


**Cuadro 1.- Cálculo de la capacidad del estanque según la especie cultivada**

Especie	Volumen aproximado de solución consumida Densidad de plantación Capacidad aproximada (l planta/día) <sup>(1)</sup>	Densidad de plantación (planta/m <sup>2</sup> )	Capacidad aproximada del estanque <sup>(2)</sup> (l/m <sup>2</sup> )
Lechuga	0.3	24	9
Tomate	2.5	5	16
Pepino	3.0	5	19

<sup>(1)</sup> Para una planta en su máximo estado de desarrollo.

<sup>(2)</sup> Este valor al multiplicarse por la superficie real de cultivo estima el tamaño del estanque. Se considera un 25 % más del volumen consumido como volumen remanente.



## CULTIVO EN SACOS CON EL SISTEMA NFT (CON O SIN SUSTRATO)

Los sacos utilizados para este sistema de cultivo suelen ser de plástico para invernadero. Han de ser opacos, no traslúcidos, y medir de 15 a 20 centímetros de diámetro y de 1 a 2 metros de longitud. Su capacidad será de 40 a 50 litros, a fin de que puedan contener de 30 a 40 litros de solución nutritiva o sustrato (grava perlita), cuyas medidas no superarán los 3 a 5 milímetros de espesor.

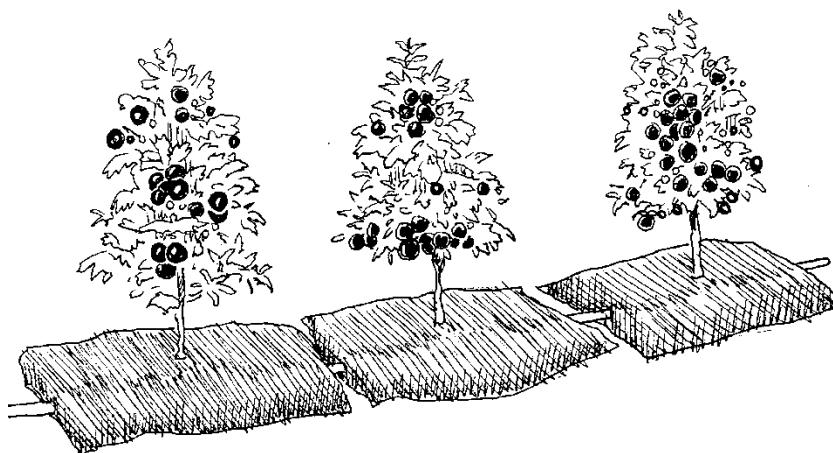
Para que no estén en contacto con la tierra, los sacos se colocarán sobre una superficie plana de plástico de invernadero o de algún otro material, pero siempre con una inclinación del 1 al 2 por ciento, para que este desnivel propicie el drenaje a la cisterna.

Una vez llenados con el sustrato o la solución nutritiva hasta la altura indicada anteriormente, en los sacos se hace a trechos espaciados una incisión o corte en forma de cruz, de unos 2 ó 3 centímetros. Si se usa sustrato, sobre éste se sembrará la planta a una profundidad de 3 a 5 centímetros

En cuanto al *riego*, se aplicará por goteo o con **NFT** y, una vez a la semana, con agua natural.

Cuando el riego es por goteo, la solución no se reciclará.

Aparte de que en éste, como en todos los demás sistemas, se cuidará de que el drenaje sea fluido.



**Cultivo NFT en sacos.**

## UNIDAD DE APRENDIZAJE V OTROS SISTEMAS

### Objetivo

El alumno será capaz de dominar otros sistemas de producción en hidroponía

### Cultivo intensivo de forraje verde hidropónico (FVH)

En esta técnica admirable que no se comprende cómo no está más difundida en beneficio de los campesinos, de nuestra economía y del entorno en general-, el *manejo de las semillas* así como la *infraestructura de las instalaciones* juegan un papel determinante para la producción, por lo que nos detendremos un poco en describirla.

Ante todo, se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (no roto ni maltratado) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos.

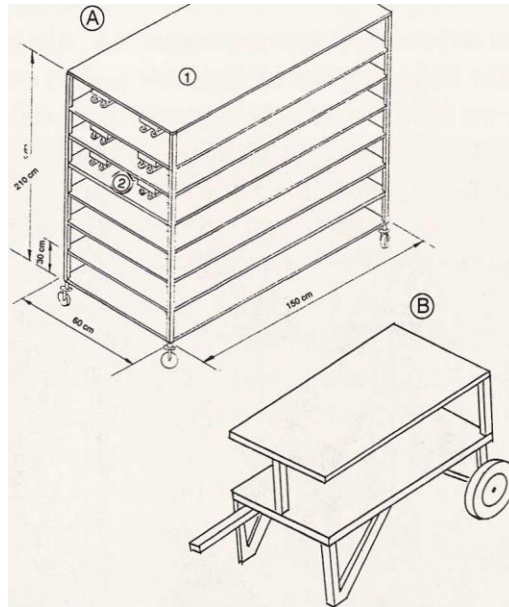
Como en cualquier cultivo cuya producción se pretende acelerar, después de lavar la semilla con agua limpia natural, se mantendrá en remojo durante 5 a 10 horas en un recipiente con agua tibia (entre 21 y 25 grados centígrados)

A continuación se sacan y se colocan en una caja o contenedor, en el cual se iniciará la actividad enzimática dentro de la semilla. Una vez que hayan despuntado los brotes (al cuarto día aproximadamente), se colocarán en charolas de 50 a 80 centímetros. Una vez dispuestas las semillas en el contenedor o charola con un espesor de 1 cm, permanecerán en el germinador hasta que el brote alcance 0.5 cm (figura 10.8).

Si el brote alcanzó ya 0.5 cm, lo pasaremos a la sala o nave de producción, donde las charolas serán humedecidas constantemente con agua, a la que se añadirá una pequeña cantidad de nutrientes que aceleren el crecimiento.

Es conveniente que la aplicación de esta solución se haga con un aparato humidificador; pero puede hacerse también manualmente con un rociador, dependiendo del tamaño de tu instalación.

La temperatura de este espacio para el cultivo se recomienda que sea de 28 a 30°C. Y las charolas tendrán invariablemente que estar expuestas lo más posible a la luz, ya sea natural o artificial, pero sin que lleguen a quemarse. De este modo se evita que el grano consuma sus reservas, que las debe conservar para que el forraje tenga el mayor valor nutritivo. Todo esto se explica porque la *temperatura*, la *luminosidad* y la *humedad* estimulan el crecimiento de la planta.



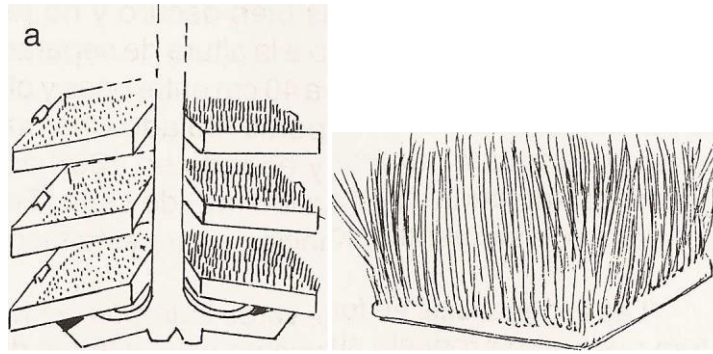
A) Contenedor para charolas: 1. Soporte; 2. Lámparas de luz. B) Carretilla de soporte

En la nave de producción los cultivos permanecerán de 5 a 7 días, hasta que las plantas hayan alcanzado el tamaño requerido, cosa que dependerá también de la clase de semilla utilizada, de la variedad de forraje, de la altura y de la precocidad del cultivo.

Se considera que por cada kilogramo de semilla, se utilizarán 2 litros de agua con nutrientes o un poco más.

Este cultivo te dará bloques completos y compactos de forraje que se pueden cosechar fácilmente. Para ello, se retira de la charola el *colchón radicular*. Así se llama al conjunto de raíces y forraje que se han formado en la charola de producción, incluyendo las semillas no nacidas (lo cual se considera normal en un 1 ó 2 por ciento)

b



a) Charolas de germinación. b) Charolas de forraje FVH.

Tres días antes de la cosecha hay que regar solamente con agua natural, pues esto hará que el forraje resulte más dulce. Este forraje puede consumirse en el mismo día, o almacenarse por dos o tres días. Pero si se rebasa este tiempo límite, irá perdiendo su contenido nutricional al igual que el rendimiento en la producción, es mayor y más completo que el forraje de cultivos tradicionales.

En este cultivo intensivo se sugiere utilizar semillas de gramíneas (como maíz, cebada, centeno, avena, etcétera), y para los germinados se recomienda semilla de alfalfa, soya, frijol, mungo, etcétera.

El ciclo de siembra-cosecha varía de 6 a 9 días.

En el caso de la *hidroponía media o comercial*, se recomienda usar charolas de vidrio o plástico, y el riego será forzosamente por nebulización y automático, y cuidadosamente programado. La tubería para las nebulizaciones puede ser de 80 cm a 1 m entre una y otra. En caso de que el calor sea muy intenso, se aconseja utilizar extracto res de aire. Y cuando sea necesario, se sugiere también incorporar ozono al agua de riego.

Para el germinador, se usará un sistema de riego por microaspersión; debe estar más bien oscuro y no tener demasiada ventilación. En cuanto a la altura de separación entre las charolas, debe ser de 30 a 40 cm entre unas y otras.

En el estudio sobre la hidroponía titulado *Una nueva esperanza para Latinoamérica* y editado en 1996 por la Universidad Nacional Agraria "La Molina" de Lima (Perú), encontramos la siguiente información sobre esta técnica:

"Las experiencias en forraje verde hidropónico muestran que es un producto sumamente palatable [es decir, grato al paladar], con niveles óptimos de energía, vitaminas y minerales, de alta calidad para el ganado vacuno de carne y leche, incluso para caballos de carreras, como lo demuestra el Ing. Enrique Valdivia, quien abasteció con forraje verde

hidropónico al Hipódromo de Monterrico (con módulos instalados en el mismo hipódromo) ya muchos establos de vacuno y productores de carne y leche. Actualmente tiene una capacidad de producción de 15 ton/día en 1,000 m<sup>2</sup> en sus instalaciones en Lurin (Perú)

Se reporta en Ayacucho la instalación y operación de un vivero hidropónico ubicado en el distrito de Ocros, localidad de Chumbes (Fundo la Colpa), bajo el asesoramiento de Ing. Carlos Sanatti de la Melena. El vivero tiene como sustrato arena y riego por goteo, con la obtención de una producción de 50,000 plantas de tuna enraizadas (nopales) y brotadas cada dos meses, para abastecer la siembra de 60 hectáreas destinadas a la producción intensiva de cochinilla del carmín".

### **Soluciones nutritivas**

Toda planta forma un laboratorio biológico-químico. A través del fenómeno de la ósmosis los vegetales toman su agua y los elementos que necesitan para su ciclo vital. Por el sistema radicular, la planta excreta ácidos para auxiliar a la disolución de minerales que existan en la tierra.

Por medio de los vasos llamados xilema (leña) y floema (corteza de teofrasto) sube y baja. Distribuye y transporta la planta sus nutrientes y agua necesaria.

Al llegar a las hojas, se efectúa el fenómeno denominado fotosíntesis y hasta aquí es donde el gran laboratorio sintetiza las sustancias esenciales para el ser humano y los animales.

Así de sencillo y concreto es el proceso en el que la planta se ubica y se desarrolla.

El sistema hidropónico proporciona los diferentes elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg, B, C, Cu; Fe, Zn, O, Mn, S y el H), de una manera muy directa, por lo cual la forma en que se proporcionen a los cultivos, es de suma importancia y delicadeza.

Los elementos se proporcionan a través de compuestos como el  $\text{SO}_4\text{Mg}$ , que proporciona el S y el Mg; el nitrato de calcio  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$ , que proporciona N, Ca y O, así en los demás fertilizantes y el agua.

Respecto al agua que debe utilizarse en una solución, cabe mencionar que el agua de lluvia es, sin duda, la más apropiada. Si tiene algún elemento, no será perjudicial, por el contrario, es útil. El agua fluvial (arroyos y ríos) puede ser útil con la condición de que sea potable. El agua de pozo también es de utilidad, salvo que no contenga suficientes sales disueltas. No se recomienda el agua de mar, lagunas o ríos interiores, debido a su salinidad o contaminantes.

Una vez preparada una solución nutritiva, debe protegerse de la luz y de la oxidación de los tanques o recipientes.

De la misma manera que los productores de frutas, hortalizas y flores, sin ser químicos ni agrónomos, conocen en forma general la composición de la mayoría de los fertilizantes y saben qué resultados se pueden obtener con la aplicación adecuada de éstos, tú también debes recordar o aprender algunas reglas básicas de química que aquí encontrarás, y de ese modo podrás conocer las fórmulas que se van a emplear y saber cómo actúa cada de las sales minerales en tus plantas; cómo puedes realizar tú mismo un cambio en las formulaciones y que, a través de estos cambios, puedes mejorar en forma importante la producción.

Aunque hay que tener muy presente que, como dice un estudioso de la hidroponia (G.O. Huterwal), "casi todos los investigadores están de acuerdo en que no puede haber ninguna solución nutritiva cuya composición sea notablemente superior a la de otra".

En los cultivos hidropónicos se utilizan únicamente los elementos y sales minerales siguientes: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, manganeso, azufre, hierro, magnesio, boro, zinc, cobre, carbono, oxígeno, hidrógeno, molibdeno, cloro, sodio, níquel, cobalto y sílice.

## LAS FÓRMULAS MÁS EFICACES

Una vez vistos someramente cuáles son los elementos que contienen los nutrientes que vamos a suministrar a nuestros cultivos, así como su importancia y los efectos en las plantas cuando faltan, a continuación expondremos las diversas formulaciones, esto es, cuáles y en qué cantidad deben combinarse en función del cultivo que deseemos hacer.

Dentro de este contexto manejaremos dos tipos de fórmulas: las fórmulas estáticas y las fórmulas dinámicas.

Pero antes, digamos que la regla de oro para manejar las fórmulas correctamente es que la concentración de sales nunca será superior a 2.5 gramos por litro de agua.

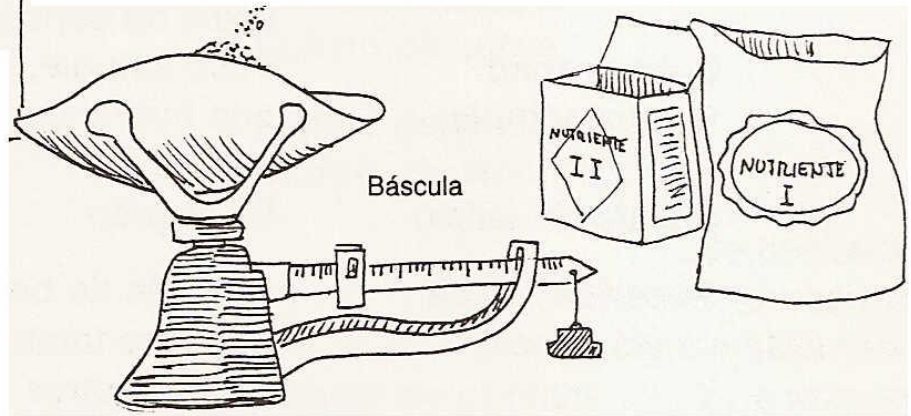
De otro modo, a la planta le será muy difícil absorber la solución en la que están disueltos los nutrientes, aumentando la presión osmótica e impidiendo, por tanto, el desarrollo de las raíces.

A continuación aparece una enumeración de las fuentes de donde se pueden obtener estos elementos o nutrientes, con el nombre comercial bajo el cual se pueden adquirir en cualquier farmacia o droguería, así como en las tiendas donde se venden fertilizantes para los cultivos tradicionales.

Al hacer la extracción de estos minerales que en su mayoría vienen acompañados de otros diferentes a los que se pretende obtener, y al separar unos de otros, su precio se

eleva, puesto que los procesos son muy complejos. Así, las sales minerales puras, por su alto costo, se usan generalmente sólo como reactivos en los laboratorios o para fabricar medicamentos. Si al extraer estos elementos no se refinan o separan, reciben el nombre de "sales minerales industriales" o "sales minerales para fertilizar", consiguiéndose entonces a precios mucho más bajos.

Para elaborar una solución nutritiva hay que pesar cuidadosamente los nutrientes por separado e ir agregando uno por uno al agua ya medida, agitando constantemente la solución, para lograr que se disuelvan perfectamente.



## Fuentes de obtención de nutrientes

<i>Elemento</i>	<i>Sal</i>	<i>Características</i>
<i>Nitrógeno</i> (generalmente este elemento se provee en hidroponia a las plantas en forma de nitratos)	Nitrato de potasio	Es una buena fuente de nitrógeno y potasio.
	Nitrato de calcio	Es generalmente caro y sólo se usa como reactivo para análisis. Una fuente excelente de nitrógeno y calcio.
	Nitrato de sodio	En el mercado se conoce también como "Nitrato chileno" y se considera una buena fuente de nitrógeno.
	Nitrato de amonio	Muy buena fuente de nitrógeno y amonio.
	Sulfato de amonio	Provee a la solución nutritiva buenas cantidades de amonio, además de azufre; acidifica la solución.
	Urea	También se considera como una buena fuente de nitrógeno.
<i>Potasio</i>	Nitrato de Potasio	Buena fuente de potasio y, en forma suplementaria, de nitrógeno.
	Cloruro de potasio	Buena fuente también de potasio.
	Sulfato de potasio	Además del potasio, proporciona azufre. Es barato y fácil de conseguir.
<i>Calcio</i>	Nitrato de calcio	Es bastante soluble, pero difícil de conseguir.
	Superfosfato (simple y triple)	Poco soluble, proporciona una buena cantidad de calcio.
	Sulfato de calcio	Es el yeso.
<i>Fósforo</i>	Superfosfato de calcio simple	Además de barato, contiene también calcio, azufre y otros microelementos.

<i>Elemento</i>	<i>Sal</i>	<i>Características</i>
<b>Níquel y Cobalto</b>		Estos microelementos se encuentran como trazas o impurezas en gran variedad de sales.

**Cuadro 5.10.** Características de las principales fuentes de elementos esenciales para elaborar soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos, adaptado de Schwarz (1975), Ellis and Swaney (1963), Bentley (1955) y Bentley (1959)

<i>Fuente</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Contenido de elementos nutritivos (%) (Considerando impurezas)</i>	<i>Solubilidad en agua</i>	<i>Gramos requeridos para dar 1 ppm del elemento en 100 l de agua</i>	<i>Relaciones</i>
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	101	36(K)-13(N)	1:4	0.28 g = 1 ppm de K = 0.36 ppm de N	K:N-2.8:1
Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164	23.5(Ca) 16.5(N)	1:1	0.43 g = 1 ppm de Ca = 0.70 ppm de N	Ca:N-1 42:1
Nitrato de sodio	NaNO <sub>3</sub>	85	15.5(N)	1:1	0.65 g = 1 ppm de N	
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80	33(N)	1:1	0.30 g = 1 ppm de N	
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132	20.5(N)	1:2	0.49 g = 1 ppm de N	
Fosfato monoamónico (11-48-0)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115	27(P)-11(N)	1:4	0.37 g = 1 ppm de P = 0.40 ppm de N	P:N-2.45:1
Fosfato diamónico (18-46-0)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	132	23.5(P)-18(N)	1:2	0.43 g = 1 ppm de P = 0.77 ppm de N	P:N-1.3:1
Urea	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -CO	60	46(N)	1:2	0.22 g = 1 ppm de N	
Superfosfato simple	CaH <sub>4</sub> -(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O (+ otros materiales)	750 (aunque es muy variable)	26.6(Ca)-7(P)	1:410	0.38 g = 1 ppm de Ca = 0.26 ppm de P	Ca:P-3.8:1
Superfosfato triple	CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	310 (también variable)	18.6(P)-13.6(Ca)	1:300	0.54 g = 1 ppm de P=0.73 ppm de Ca	P:Ca-1.37:1
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub>	174	44.8(K)	1:15	0.45 g = 1 ppm de K	
Cloruro de potasio	KCl	75	52(K)	1:3	0.19 g = 1 ppm de K	

Sulfato de calcio (yeso)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172	23(Ca)	1:500	0.43 g = 1 ppm de Ca
Cloruro de calcio	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	219	18(Ca)	1:1	0.56 g = 1 ppm de Ca
Sulfato de magnesio (sal de epsom)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.5	10(Mg)	1:3	1.0 g = 1 ppm de Mg
Sulfato de magnesio (anhidro)	$\text{MgSO}_4$	120	20(Mg)	1:10	0.5 g = 1 ppm de Mg
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278	20(Fe)	1:5	0.5 g = 1 ppm de Fe
Cloruro férrico	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270	21(Fe)	1:2	0.48 g = 1 ppm de Fe
Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	223	25(Mn)	1:3	0.4 g = 1 ppm de Mn
Cloruro de manganeso	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	198	28(Mn)	1:2	0.36 g = 1 ppm de Mn
Ácido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	62	18(B)	1:20	0.56 g = 1 ppm de B
Tetraborato de sodio (Bórax)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381	12(B)	1:27	0.83 g = 1 ppm de B
Sulfato cúprico	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250	25(Cu)	1:5	0.4 g = 1 ppm de Cu
Cloruro cuproso	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	170	37(Cu)	1:2	0.27 g = 1 ppm de Cu
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	288	23(Zn)	1:3	0.43 g = 1 ppm de Zn
Cloruro de zinc	$\text{ZnCl}_2$	136	48 (Zn)	1:1.3	0.2 g = 1 ppm de Zn

FUENTE: Escalante, E. 1983 [12] y F. Sánchez.

### Fórmulas estáticas

Las fórmulas estáticas para elaborar la solución nutritiva son aquellas que no cambian a lo largo del proceso productivo de la planta. Aquí te presento algunos ejemplos de las más usuales y experimentadas en todo el mundo desde mucho tiempo atrás, obteniéndose con ellas excelentes resultados.

- 1) *Fórmula estática original de H. Hills y M.B. Davis, de la Granja Experimental Central de Ottawa, Ontario, Canadá, (especialmente recomendada para el cultivo de crisantemos, de resultados generalmente muy buenos):*

Para 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4$	123 gr
Fosfato monopotásico	$\text{KPO}_4\text{H}_2\text{O}$	67 gr
Cloruro de Calcio	$\text{CaCl}$	138 gr
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	150 gr
Nitrato amónico	$\text{NO}_3(\text{NH}_4)_2$	338 gr

- 2) *Fórmula estática de Beckhart y Connors, Estación Experimental Agrícola de New Jersey:*

Para disolver en 200 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Sulfato de amonio	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	30 gr
Fosfato de potasio	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	57 gr
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	114 gr
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{O}$	486 gr

- 3) *Fórmula estática recomendada por Robert Withrow, de la Universidad de Purdue:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	26 gr
Superfosfato triple	(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Ca	31 gr
Nitrato de Potasio	KNO <sub>3</sub>	88 gr
Sulfato amónico	SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	28 gr

- 4) *Fórmula estática del Colegio de Agricultura, de la Universidad de California:*

Para disolver en 400 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de calcio	Ca(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	90 gr
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	90 gr
Fosfato ácido de amonio		20 gr
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	30 gr

- 5) *Fórmula estática estándar para cultivo en grava en Japón, según Douglas:*

Para disolver en 1,000 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	810 gr
Nitrato de amonio	320 gr
Sulfato de magnesio (sal de Epsom)	500 gr
Superfosfato simple	580 gr
Micronutrientes	variable

6) *Fórmula estática de Israel, según Bentley:*

Para disolver en 1,000 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de sodio	700 gr
Superfosfato simple	1,000 gr
Sulfato de potasio	750 gr
Sulfato de calcio	140 gr
Sulfato de magnesio (sales de Epsom)	120 gr
Sulfato de hierro	450 gr
Bórax	20 gr
Sulfato de manganeso	1 gr
Sulfato de cobre	0.1 gr
Sulfato de zinc	0.1 gr

7) *Fórmula estática para invierno en Estados Unidos, según Harris (proporciona en ppm: N-104, P-63, K-410, Ca-220, Mg-50)*

Para disolver en 1,000 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	550 gr
Sulfato de potasio	500 gr
Sulfato de calcio	760 gr
Sulfato de magnesio (sales de Epsom)	5200 gr
Superfosfato (simple)	310 gr
Sulfato de amonio	140 gr

8) *Fórmula estática para Inglaterra, según Harris (proporciona en ppm: 200 de N, 88 de P, 200 de K, 270 de Ca y 50 de Mg):*

Para disolver en 1,000 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	550 gr
Nitrato de sodio	640 gr
Sulfato de amonio	120 gr
Superfosfato triple	440 gr
Sulfato de Magnesio (sales de Epsom)	520 gr
Sulfato de calcio	860 gr
Micronutrientes	variable

También entre las fórmulas estáticas, ofrecemos a continuación las que hemos diseñado y comprobado personalmente, con excelentes resultados, para los siguientes cultivos:

9) *Fórmula estática para el cultivo de ajo y cebolla:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	63 gr
Fosfato de amonio	17 gr
Cloruro de calcio	90 gr
Sulfato de magnesio	45 gr
Sulfato ferroso	3 gr
Nitrato de sodio	80 gr
Sulfato de manganeso	0.5 gr
Sulfato de zinc	0.5 gr
Sulfato de cobre	0.1 gr
Ácido bórico	0.2 gr

10) *Fórmula estática para frijol y girasol:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	58 gr
Fosfato de amonio	15 gr
Cloruro de calcio	8 gr
Sulfato de magnesio	42 gr
Sulfato ferroso	2 gr
Nitrato de sodio	75 gr
Sulfato de manganeso	0.5 gr
sulfato de zinc	0.1 gr
Sulfato de cobre	0.1 gr
Ácido bórico	0.1 gr

11) *Fórmula estática para el cultivo de rosas:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	77 gr
Fosfato de amonio	13 gr
Cloruro de calcio	63 gr
Sulfato de magnesio	34 gr
Sulfato ferroso	1.6 gr
Nitrato de sodio	54 gr
Sulfato de manganeso	0.3 gr
Sulfato de cobre	0.05 gr
Ácido bórico	0.2 gr

12) *Fórmula estática para fresas y fresones:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	58 gr
Fosfato de amonio	15 gr
Cloruro de calcio	84 gr
Sulfato de magnesio	42 gr
Sulfato ferroso	2 gr
Nitrato de sodio	75 gr
Sulfato de manganeso	0.5 gr
Sulfato de zinc	0.01 gr
Sulfato de cobre	0.02 gr
Ácido bórico	0.2 gr

13) *Fórmula estática para el tomate y el jitomate:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	64 gr
Fosfato de amonio	13 gr
Cloruro de calcio	73 gr
Sulfato de magnesio	34 gr
Sulfato ferroso	2 gr
Nitrato de sodio	64 gr
Sulfato de zinc	0.02 gr
Sulfato de cobre	0.2 gr
Ácido bórico	0.01 gr

- 14) *Fórmula estática para dalias, crisantemos y otras flores de buen volumen y con abundancia de pétalos:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de calcio	50 gr
Nitrato de potasio	50 gr
Fosfato de amonio	25 gr
Sulfato de magnesio	17 gr
Sulfato férrico	1 gr
Ácido bórico	0.1 gr

- 15) *Fórmula estática para cultivar hongos (entre las especies más recomendables están las del género Agaricus):*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	80 gr
Nitrato de sodio	110 gr
Sulfato de magnesio	40 gr
Fosfato de amonio	25 gr

## Fórmulas dinámicas

Las fórmulas dinámicas para elaborar una solución nutritiva son aquellas que cambian la proporción de varios nutrientes a lo largo del proceso productivo de la planta, para reforzar las funciones en sus distintos periodos. A continuación presentamos las fórmulas que personalmente hemos desarrollado, experimentado y adoptado.

### 1) *Fórmula general para la germinación prematura y el fortalecimiento de la planta en su periodo de crecimiento:*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	90 gr
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4$	30 gr
Fosfato monopotásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	20 gr
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	35 gr
Sulfato de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	15 gr
Sulfato de hierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10 gr
Sulfato de magnesio	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1 gr
Ácido bórico	$\text{H}_2\text{BO}_3$	0.5 gr
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5 gr
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5 gr

### 2) *Fórmula general para el periodo del crecimiento, hasta el principio de la floración*

Para disolver en 100 litros de agua.

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	110 gr
Cloruro de calcio	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	70 gr
Sulfato de magnesio	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	50 gr
Nitrato de sodio	$\text{Na}(\text{NO}_3)$	100 gr
Cloruro de amonio	$(\text{NH}_4)\text{Cl}$	15 gr
Fosfato cálcico	$\text{Ca}(\text{PO}_3)$	30 gr
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1 gr
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5 gr
Ácido bórico	$\text{H}_2\text{BO}_3$	0.5 gr
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15 gr

3) *Fórmula general para la conservación y aumento de la floración, así como para lograr una mejor consistencia y preservación de los frutos.*

Para disolver en 100 litros de agua

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Cantidad</i>
Nitrato de sodio	Na(NO <sub>3</sub> )	100 gr
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	150 gr
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	75 gr
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	50 gr
Cloruro de amonio	(NH <sub>4</sub> )Cl	20 gr
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1 gr
Sulfato férrico	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	15 gr
Fosfato cálcico	Ca(PO <sub>3</sub> )	7 gr
Sulfato de zinc	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1 gr
Sulfato de manganeso	MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5 gr

Composición de la solución nutritiva para hidroponía de Hoagland y Arnon (1950) (Azcon-Bieto y Talón 2003)

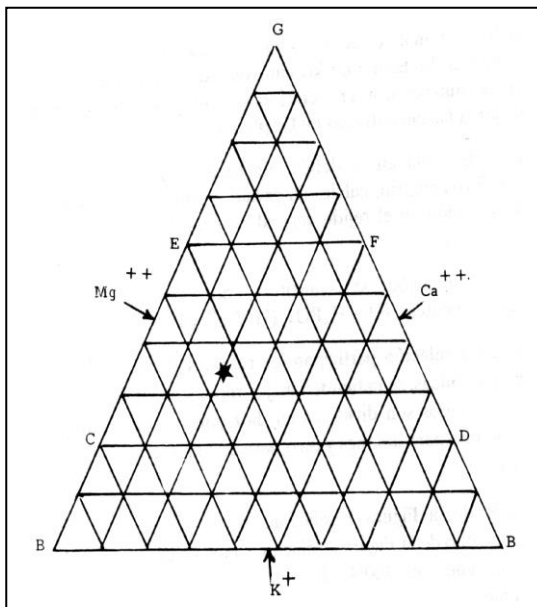
Sales	Fórmula	Concentración (mM)	Elementos	Concentración (mg·L <sup>-1</sup> ) o (ppm·L <sup>-1</sup> )
Nitrato de Calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.5	Ca	103
Fosfato Potásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5	N	105
Nitrato de Potasio	K NO <sub>3</sub>	2.5	K	118
Sulfato de Magnésico	Mg SO <sub>4</sub>	1.0	S	33
Sulfato de Zinc	Zn SO <sub>4</sub>	0.00039	Mg	25
Sulfato de Manganoso	Mn SO <sub>4</sub>	0.0046	P	15
Sulfato de Cobre	Cu SO <sub>4</sub>	0.00016	Fe	10
Ácido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.0234	B	0.25
Ácido de Molibdeno	Mo O <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	0.000051	Mn	0.25
Sequestrene (Fe)	Fe	0.179	Zn	0.025
			Cu	0.01
			Mo	0.0052
			Cl	0.50

## Diseño de una solución nutritiva

### Fundamentos (Steiner 1961)

- Para investigar el uso de soluciones en la nutrición vegetal los nutrientes deben mezclarse en proporciones relativas, similares a las propias de las plantas.
- Las relaciones deben efectuarse entre los elementos: **N, P, K, Ca, Mg** y **S**.
- La primera relación se constituye por las siguientes formas aniónicas:  **$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ( $\text{HPO}_4^-$  y  $\text{PO}_4^-$ ) y  $\text{SO}_4^-$ .**
- En la segunda relación participan los cationes  **$\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , y  $\text{Mg}^{++}$ .**

Estas relaciones iónicas, se entienden mejor si son representadas en un triángulo equilátero cuyos lados son divididos en diez partes iguales, utilizándose separadamente uno para cationes y otro para aniones.



Triángulo de restricciones

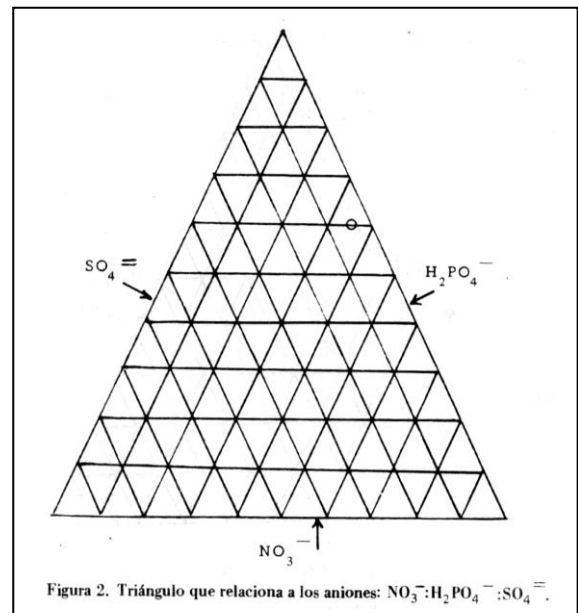


Figura 2. Triángulo que relaciona a los aniones:  $\text{NO}_3^-$ : $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ : $\text{SO}_4^-$ .

Para 50 relaciones distintas:

Por combinación

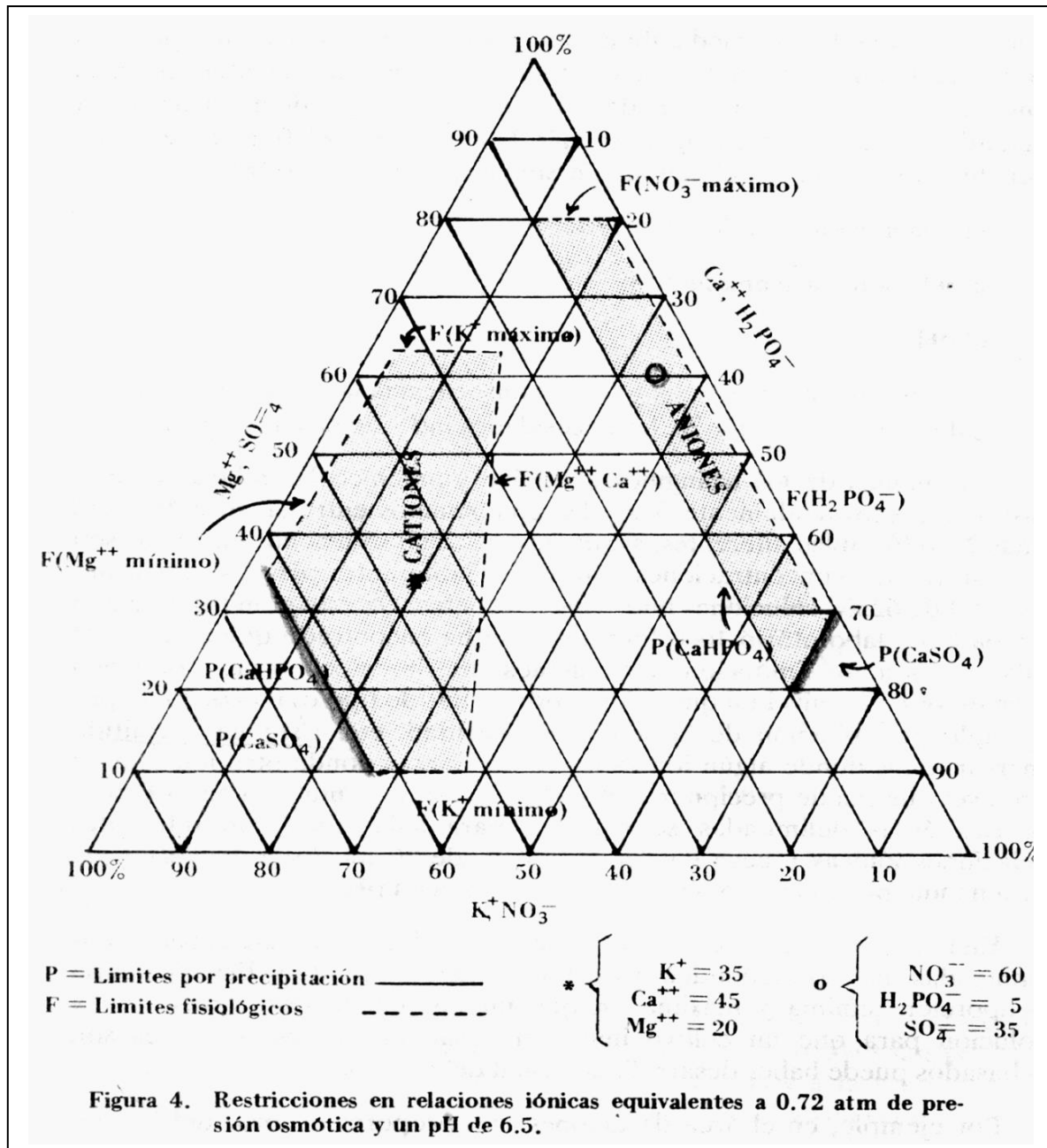
**50 = 2500 fórmulas**

Para 5 concentraciones y 5 pHs distintos:

**2500 X 5 X 5 = 62500 soluciones distintas**

Formulas Probadas:

**1600 aprox.**



### **Limites fisiológicos (líneas punteadas).**

Indican la proporción mínima y máxima en que un ión puede encontrarse en la solución para que un cultivo inicie su desarrollo. Si estos niveles son rebasados, entonces puede haber desarrollo anormal del cultivo.

### **Limites de precipitación (líneas continuas)**

Indican la proporción en la que un ión puede precipitar a otro.

EL CAMBIO EN LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN AFECTA A LOS LÍMITES

EL CAMBIO EN EL PH AFECTA A LOS LÍMITES

### **Procedimiento de preparación**

Requerimientos de la formulación

- Relación entre cationes
- Relación entre aniones
- pH
- Concentración iónica total (presión osmótica relacionada)

**RANGOS MINIMO, OPTIMO Y MAXIMO DE ELEMENTOS Y DE  
LOS IONES PRESENTES EN LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS  
SEGUN SCHWARZ (1975)**

Elemento radical	Mínimo	Optimo	Máximo
Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )	200	300- 900	1000
Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )	—	0- 40	100
Fósforo (P)	30	30- 90	100
Potasio (K) <sup>+</sup>	150	200- 400	600
Calcio (Ca) <sup>+2</sup>	100	150- 400	600
Magnesio (Mg) <sup>+2</sup>	25	25- 75	150
Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	150	200-1000	1000
Cloro (Cl) <sup>-</sup>	30	— - 350	600
Sodio (Na) <sup>+</sup>	—	—	400
Fierro (Fe) <sup>+2</sup>		0.5-2	
Acido Bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )		0.2-1	5
Zinc (Zn) <sup>+2</sup>		0.2-2	20
Cobre (Cu) <sup>+2</sup>		0.1-2	5
Manganeso (Mn) <sup>+2</sup>		1-5	15
Cobalto (Co) <sup>+2</sup>			
Flúor (F) <sup>-</sup>			
Molibdeno (Mo) <sup>+1</sup>			

**Nota:** El guión indica que el elemento no está presente y el espacio en blanco significa falta de información.

Concentraciones de minerales para una solución nutritiva optima

Elemento	ppm (mg·L <sup>-1</sup> )	Elemento	ppm (mg·L <sup>-1</sup> )
N	300	Fe	4.0
P	80	Mn	1.0
K	250	B	0.5
Ca	300	Cu	0.5
Mg	75	Zn	0.5
S	100		

**RANGOS MINIMO, OPTIMO Y MAXIMO DE ELEMENTOS PRESENTES EN SOLUCIONES HIDROPONICAS SEGUN DOUGLAS (1976)**

Elemento	Mínimo	Optimo	Máximo
Nitrógeno	150	300	1000
Calcio	300	400	500
Magnesio	50	75	100
Fósforo	50	80	100
Potasio	100	250	400
Azufre	200	400	1000
Cobre	0.1	0.5	0.5
Boro	0.5	1	5
Fierro	2	5	10
Manganeso	0.5	2	5
Molibdeno	0.001	0.001	0.002
Zinc	0.5	0.5	1

Si se utiliza como fuente de nitrógeno el nitrato de potasio se puede proceder como sigue:

N = 200 ppm  
 K = 300 ppm  
 P = 60 ppm  
 Ca = 300 ppm  
 Mg = 50 ppm  
 Fe = 2 ppm  
 Mn = 0.5 ppm  
 B = 0.5 ppm  
 Cu = 0.25 ppm  
 Zn = 0.25 ppm

**Nota:** El azufre no se contabiliza ya que es para el que más amplios rangos de tolerancia presentan las plantas. Esta situación facilita mucho los cálculos de las soluciones.

Para el cálculo de la concentración de elementos minerales en una solución nutritiva, es necesario conocer los pesos atómicos de cada elemento y además, el grado de pureza de los fertilizantes.

A continuación se describen los pasos a seguir para el cálculo de una solución nutritiva, Para que la solución nutritiva quede expresado en partes por millón (ppm) o en miligramos (mg), los cálculos se harán en gramos de fertilizante por cada 1,000 litros de agua.

Debido a que son limitadas las fuentes de calcio, iniciamos el cálculo por el fertilizante que aporta este nutrimento.

**1. CALCIO:** con Nitrato de Calcio:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

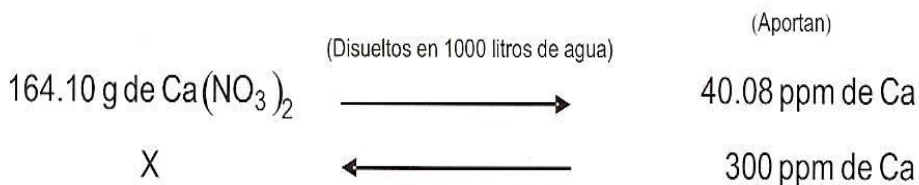
Primero se calcula el peso molecular (PM) del fertilizante, sumando la masa atómica (peso atómico) de los elementos que lo constituyen:

Entonces el peso molecular será:

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= 40.08 \times 1 = 40.08 \\ \text{N} &= 14.02 \times 2 = 28.02 \\ \text{O} &= 16.00 \times 6 = 96.00 \\ \text{Total} & \quad \mathbf{164.10} \end{aligned}$$

Para determinar la cantidad de fertilizante necesario para aportar 300 ppm (o mg) de calcio, se formula una regla de tres:

Para determinar la cantidad de fertilizante necesario para aportar 300 ppm (o mg) de calcio, se formula una regla de tres:



## 2. POTASIO: con Nitrato de Potasio: $\text{KNO}_3$

Para calcular el Potasio a base de Nitrato de Potasio, en el que se también la cantidad de Nitrógeno es aportado por este fertilizante:

Se calcula primero el peso molecular de la molécula:

$$\text{PM: K} = 39.10 \times 1 = 39.10$$

$$\text{N} = 14.01 \times 1 = 14.01$$

$$\text{O} = 16.00 \times 3 = 48.00$$

$$\text{Total} \quad 101.11$$

Planteamos una regla de tres para determinar cuánto fertilizante se requiere para aportar 250 ppm de K:

		(Aportan)
101.11 g de $\text{KNO}_3$	→	39.10 ppm de K
X	←	250 ppm de K

$$X = \frac{101.11 \times 250}{39.10} = 646.48 \text{ g de Nitrato de Potasio}$$

Ahora solo habrá que calcular la cantidad de Nitrógeno se aporta con esta cantidad del fertilizante:

101.11 g de $\text{KNO}_3$	→	14.01 ppm de N
646.48 g de $\text{KNO}_3$	→	X

$$X = \frac{646.48 \times 14.01}{101.11} = 89.58 \text{ ppm de N}$$

Por consiguientemente, con 646.48 g de Nitrato de Potasio, se estará aportando: 250 ppm de K y 89.58 ppm de N.

## 3. NITRÓGENO.

Observemos que circunstancialmente se completan las 300 ppm del Nitrógeno requeridas, pues:

El Nitrato de Calcio aporta: 209.68 ppm de N

El Nitrato de Potasio agrega: 89.58 ppm de N

Total: 299.26 ppm de N

Por lo cual se estaría aportando la cantidad de 299.26 ppm de Nitrógeno en la misma solución nutritiva.

#### 4. MAGNESIO – AZUFRE: Sulfato de Magnesio: Mg SO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O

El Magnesio y el Azufre se aportarán con Sulfato de Magnesio (sal epton):

$$\begin{aligned}\text{Peso molecular: Mg} &= 24.31 \times 1 = 24.31 \\ \text{S} &= 32.06 \times 1 = 32.06 \\ \text{O} &= 16.00 \times 11 = 176.00 \\ \text{H} &= 1.008 \times 14 = 14.11 \\ \text{Total} &= 246.48\end{aligned}$$

La cantidad de este fertilizante necesario para aportar 75 ppm de Mg, mediante una regla de tres:

$$\begin{array}{ccc} 246.48 \text{ de Sulfato de Mg} & \longrightarrow & 24.31 \text{ ppm de Mg} \\ X & \longleftarrow & 75 \text{ ppm de Mg} \end{array}$$

$$X = \frac{246.48 \times 75}{24.31} = 760 \text{ g de Sulfato de Magnesio}$$

Calculamos el Azufre aportado, mediante otra regla de tres:

$$\begin{array}{ccc} 246.48 \text{ g de Sulfato de Mg} & \longrightarrow & 32.06 \\ 760 \text{ g de Sulfato de Mg} & \longrightarrow & X \end{array}$$

$$X = \frac{760 \times 32.06}{246.48} = 98.85 \text{ ppm de S (Azufre)}$$

Entonces: 760 g de Sulfato de Magnesio, aportan:  
75 ppm de Magnesio  
99 ppm de Azufre

Normalmente este fertilizante se comercializa con un 80 % de grado de pureza, por lo que a esta cantidad se le hace el ajuste correspondiente:

$$760/0.80 = 950 \text{ g}$$

Y con esto se puede considerar que se cuenta con las cantidades necesarias para preparar la solución nutritiva.

1. FÓSFORO: Ácido Fosfórico:  $H_3PO_4$   
Determinamos el peso molecular.

$$\begin{aligned} \text{PM: H} &= 1.008 \times 3 = 3.02 \\ \text{P} &= 30.97 \times 1 = 30.97 \\ \text{O} &= 16.00 \times 4 = 64.00 \\ \text{Total} & \quad 97.99 \end{aligned}$$

Determinamos la cantidad del producto necesario para aportar 80 ppm de P, mediante una regla de tres:

$$\begin{array}{ccc} 97.99 \text{ g de } H_3PO_4 & \longrightarrow & 30.97 \text{ ppm de P} \\ X & \longleftarrow & 80 \text{ ppm de P} \end{array}$$

$$X = \frac{97.99 \times 80}{30.97} = 253.12 \text{ g de } H_3PO_4$$

Para convertirlo a mililitros, dado que su presentación es en forma líquida, se considera el valor de la densidad del Ácido Fosfórico, que corresponde a un valor de 1.834, por lo tanto la ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$\frac{253.12 \text{ g}}{1.834} = 138.02 \text{ ml}$$

Cuando se usa Ácido Fosfórico grado industrial y éste se encuentra a una concentración de 80 %, se realiza el siguiente ajuste:

$$\frac{138.02}{0.80} = 172.5 \text{ ml de Ácido Fosfórico}$$

Por tanto, se requiere:

172.5 mL de ácido fosfórico para aportar 75 ppm de Fósforo.

Existe una diferencia en cuanto al valor del pH del agua, mismo que hace variar las cantidades requeridas del ácido sulfúrico y del ácido fosfórico, para lograr que la solución nutritiva en los goteras salgan con un pH de 5.5, sin embargo, conviene revisar frecuentemente (cada 7 a 15 días) para que la solución nutritiva que llegue al sistema radical de las plantas tenga un pH entre 5.5- 6.5.

Este es uno de los factores más importantes en el manejo de la solución nutritiva ya que aun cuando las cantidades agregadas de cada elemento sea la adecuada, si el pH no es el correcto, se presentaran deficiencias de los elementos ya que aunque estén presentes en la solución, no están disponibles para las plantas.

Al detectar un cambio en el pH de la solución nutritiva en los goteras, solo se requerirá ajustar la cantidad de ácido sulfúrico (como se indica en el Cuadra 9) y mantener constantes el resto de los fertilizantes

Metodología para la preparación de 1,000 litros de solución nutritiva.

- 1 Se lava perfectamente la cisterna, con agua, jabón y clara.
- 2 Se le adiciona agua hasta un 75 % de su volumen total.
- 3 Cuando el agua presente un pH igual o mayor a 7.0, debe acidificarse agregando ácido fosfórico en la cantidad que se menciona en los Cuadra 5 o en su caso ácido sulfúrico en cantidades que se citan en el mismo cuadro; si la alternativa para bajar el pH fue utilizar ácido fosfórico y el pH todavía se encuentra alto agregar ácido sulfúrico en porciones de 10 ml hasta lograr el pH adecuado.
- 4 Se revisa el pH con papel tornasol. El pH deberá quedar entre 5.5 y 6.5, de lo contrario se agregará más o menos dependiendo del caso.
- 5 Pesar para cada fertilizante macra, las cantidades especificadas, haciéndolo por separado en función del volumen de la cisterna
- 6 Una vez disuelto los fertilizantes antes señaladas se agregan a la cisterna en el orden como se indica
- 7 De la solución madre, se adiciona a la cisterna la cantidad indicada
- 8 Después de realizar la mezcla con todos los fertilizantes, se termina de llenar hasta el 100 % de la cisterna.
- 9 Se vuelve a medir el pH y se realizan los ajustes necesarios en el caso de que los fertilizantes modificaron el pH de la solución.
- 10 Se agita toda la solución preparada en la cisterna durante 5 minutos

Cuando se cuenta con sistema de inyectores, es necesario calibrar el volumen total de agua que se utiliza por cada litro de solución inyectada y en base a eso se calcula la

concentración de la misma. Para calibrar el volumen de inyección se puede hacer en base a la graduación de los inyectoros o midiendo el volumen promedio de agua que emite cada gotero y multiplicarlo por el número de goteros, al mismo tiempo se mide el volumen de agua que succiona el inyector.

Como los fertilizantes se aplican a las raíces de la planta mediante el sistema de riego por goteo, se hace necesario llevar un programa de limpieza y mantenimiento de los filtros, líneas regantes y goteros, por lo que es recomendable lavarlos una vez por semana, aunque depende mucho de la calidad del agua; en el caso de que el agua contenga impurezas o sólidos, será necesario lavar diariamente los filtros. Para el caso de las cintas de goteo, se recomiendan lavarlas a cada 15 con una solución ácida ( $\text{pH} = 4$ ) constituida por ácido sulfúrico y agua. Esta solución se aplica como un riego normal, pero al final se hace pasar agua sola para diluir el ácido en el sustrato y no afectar a las raíces de las plantas

Metodología para la preparación de la solución madre.

- 1 Se agregan lentamente (aproximadamente 7 ml) de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a un litro de agua en un recipiente de vidrio ámbar hasta tener un  $\text{pH}$  de 5.5; nunca se debe agregar agua al ácido.
- 2 Se agregan los 70 gramos de Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) en varias porciones (5-6), poco a poco, y se agita el recipiente de la solución madre hasta que se disuelve perfectamente la primera porción. Después de ésta se siguen agregando las demás porciones hasta su disolución completa; esto con la finalidad de evitar que se precipite
- 3 En el mismo orden que se menciona en el Cuadro 10 se agregan lentamente las demás sales como en el caso anterior y se agitan constantemente el recipiente de la solución nutritiva hasta que quede bien disuelto.
- 4 Después de agregar todos los micronutrientes, la solución madre está lista para usarse. Es importante señalar que dicha solución SE debe conservar en sombra y en un lugar fresco, cuidando que no le llegue directamente los rayos del sol.
- 5 También se pueden disolver y almacenar por separado cada micro elemento en volúmenes mayores, con esto se evita completamente la precipitación, sobre todo del sulfato ferroso

Solución nutritiva a utilizar para 1000 litros de agua

Orden de disolución	Tipo de Fertilizante	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7
1	Ácido Sulfúrico	—	50 ml	—	50 ml	—	50 ml	—
2	Ácido Fosfórico	175 ml	—	175 ml	—	175 ml	—	133 ml
3	Sulfato de Potasio	—	551 g	890 g	558 g	558 g	—	600 g
4	Fosfato Monoamónico	—	297 g	—	297 g	—	—	—
5	Nitrato de Potasio	650 g	140 g	—	—	—	388 g	—
6	Fosfato Monopotásico	—	—	—	—	—	351 g	600 g
7	Sulfato de Magnesio	950 g	950 g	—	950 g	—	950 g	950 g
8	Nitrato de Magnesio	—	—	800 g	—	605 g	—	—
9	Nitrato de Amonio	—	—	—	154 g	126 g	103 g	—
10	Nitrato de Calcio	1230 g	1230 g	1230 g	1230 g	1230 g	1230 g	1230 g
11	Solución de micronutrientes	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml

## Riego.

La duración y frecuencia del riego varía dependiendo de factores ambientales, tales como la temperatura, intensidad de la radiación solar, tipo de sustrato utilizado, la humedad relativa y la fase fenológica del cultivo.

Conforme la planta se va desarrollando, la demanda de agua y en general de la solución nutritiva, se incrementa. Durante los primeros treinta días después del trasplante, el jitomate requiere alrededor de 0.3 litros por planta al día, los siguientes cuarenta días el consumo se incrementa a 0.8 litros diarios por planta y finalmente el resto del ciclo demanda de 1 a 1.5 litros por planta diariamente, esto dependerá de la capacidad de retención de agua del sustrato, así como de las temperaturas y humedad del ambiente.

Cuando la temperatura e intensidad de radiación solar son elevadas, los riegos deben realizarse más frecuentes, en tanto que en días nublados la frecuencia de riegos debe ser menor.

Cuando la retención de humedad del sustrato es baja, como es el caso de la arena, los riegos son más frecuentes y con menor tiempo de duración para evitar que se lixivie la solución nutritiva, pero al mismo tiempo, evitar que la planta entre en estrés por falta de agua.

En Tezontle o en arena se recomiendan tres a cuatro riegos distribuidos diariamente en el trayecto del día (9:00, 12:00, 14:00, 17:00 horas) dependiendo del gasto, volumen del sustrato y fase fenológica de la planta), aunque generalmente el tiempo de aplicación varía de 10 a 25 minutos cada riego, pudiéndose incrementar los riegos en épocas de mucha demanda de agua o de temperaturas e insolaciones muy altas.

Debe tomarse en consideración que el primer riego no debe hacerse antes de las 9:00 de la mañana, ya que la temperatura de la solución es relativamente baja y esto afecta el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas, sobre todo del fósforo. También se debe tener cuidado que el último riego no se aplique muy tarde (después de las 17:00 horas), ya que al incrementar la cantidad de agua en el sustrato, la humedad relativa, por la tarde-noche, se incrementa, favoreciendo la presencia de enfermedades.

Es recomendable aplicar una vez por semana un riego pesado al sustrato con una duración de 25 a 30 minutos con agua sin solución nutritiva; esto para lavar el sustrato y

evitar que se tengan problemas por acumulación de sales, ya que de lo contrario, se presentarán problemas de toxicidad o deficiencias algunos minerales.

Cuando el sistema de producción se realiza en camas directamente al suelo y con acolchado, no es necesario aplicar varios riegos al día, con uno o dos riegos al día son suficiente

## Síntomas de exceso y deficiencias

### Valores Adecuados de Nutrientes

Tomate al aire libre, USA

Muestra de hojas: hojas maduras más recientes

Etapa		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		%						ppm					
Etapa de 5ª hoja	Adecuado	3.0-5.0	0.3-0.6	3.0-5.0	1.0-2.0	0.3-0.5	0.3-0.8	20-40	5-15	40-100	30-100	0.2-0.6	25-40
1ª Flor	Adecuado	2.8-4.0	0.2-0.4	2.5-4.0	1.0-2.0	0.3-0.5	0.3-0.8	20-40	5-15	40-100	30-100	0.2-0.6	25-40
	Tóxico							250			1500		300
Cuaje temprano	Adecuado	2.5-4.0	0.2-0.4	2.5-4.0	1.0-2.0	0.25-0.5	0.3-0.6	20-40	5-10	40-100	30-100	0.2-0.6	25-40
	Tóxico							250					
Primer Fruto Maduro	Adecuado	2.0-3.5	0.2-0.4	2.0-4.0	1.0-2.0	0.25-0.5	0.3-0.6	20-40	5-10	40-100	30-100	0.2-0.6	25-40
En cosecha	Adecuado	2-3	0.2-0.4	1.5-2.5	1.0-2.0	0.25-0.5	0.3-0.8	20-40	5-10	40-100	30-100	0.2-0.6	25-40

REF: MAYNARD & HOCHMUTH - 1997

### Valores Adecuados de Nutrientes

Tomate de Invernadero, USA

Muestra de hojas: hojas maduras más recientes

		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		%						ppm					
Hoja madura más recientemente	Adecuado	3.5	0.3-0.65	3.5-4.5	1.0-3.0	0.35-1.0	0.2-1.0	5-35	30-75	50-300	25-1000	0.1-1.0	18-80

# N Nitrógeno

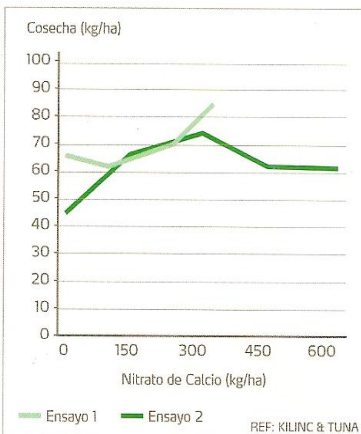
El nitrógeno es un componente clave de enzimas, vitaminas, clorofila y otros componentes de la célula, todos ellos esenciales para el crecimiento y el desarrollo del cultivo. El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes, necesario para lograr un alto rendimiento del cultivo del tomate.

## Necesidades del Cultivo

El cultivo extrae entre 2,2- 2,4 kg por cada tonelada de fruto producido (Figuras 8 y 9). Grandes cantidades, 250 kg/ha o más, son necesarios para un promedio de 100 t/ha de rendimiento.

Sin embargo, un exceso de nitrógeno puede reducir el rendimiento (Figura 11), por lo que es importante ajustar las cantidades de acuerdo a ensayos locales.

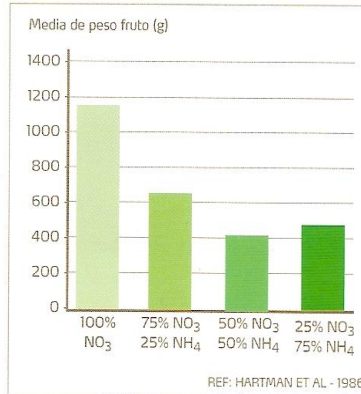
**Figura 11**  
Nitrógeno y Rendimiento  
Turquía



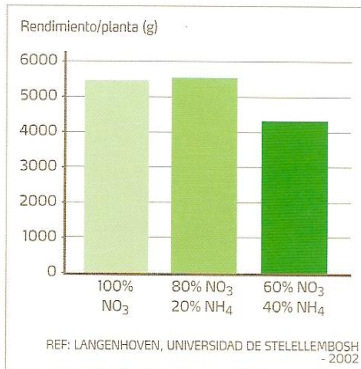
La fuente de nitrógeno es particularmente importante en el cultivo del tomate, y es crítico para mantener un buen balance entre la forma amoniacal y la nítrica para mantener un crecimiento rápido y la productividad del cultivo.

La utilización excesiva de nitrógeno amoniacal puede causar problemas. Hay ensayos que confirman pérdidas significativas, de hasta un tercio, por el uso preferente de amonio en vez de nitrato (Figuras 12 y 13).

**Figura 12**  
Forma de Nitrógeno y Peso de Fruto  
Sudáfrica



**Figura 13**  
Forma de Nitrógeno y Rendimiento  
Sudáfrica



En los mismos ensayos, donde el N amoniacal fue la fuente principal, el amonio fue absorbido preferentemente comparado con el potasio, el calcio y el magnesio, reduciendo los niveles de estos importantes nutrientes en el cultivo.

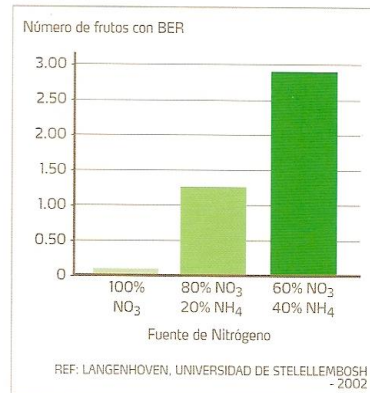
Como resultado de la absorción reducida de calcio, producto del exceso de amonio, aumentan los riesgos de podredumbre apical (Tabla 12 y Figura 14). Este problema empeora cuando el amonio es usado después del cuaje, y cuando el cultivo se encuentra bajo estrés hídrico (Figura 15)

**Tabla 12**  
Forma de Nitrógeno y BER  
Reino Unido

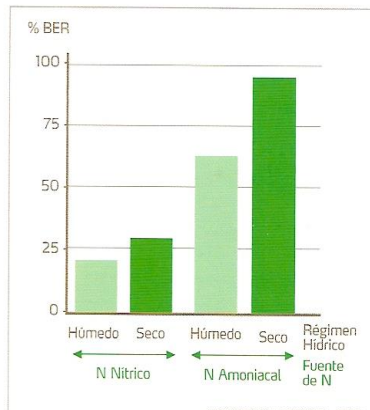
	Nitrógeno Amoniacal (mmol/l)		
	0	1.7	3.4
Frutos de tomate con BER (% en número)	1	6	19
Ca en hoja (% sobre peso seco)	1.82	1.48	0.87

REF: HO & ADAMS - 1993

**Figura 14**  
Forma de Nitrógeno y BER  
Sudáfrica



**Figura 15**  
Forma de Nitrógeno, Estrés Hídrico y Podredumbre Apical  
EEUU



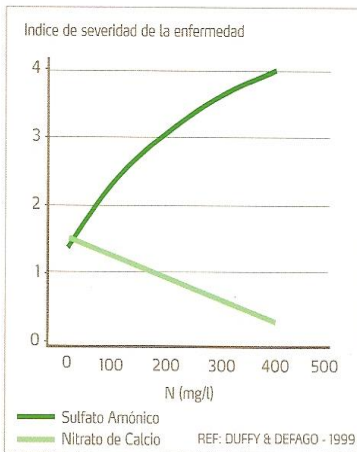
Aunque las aplicaciones de calcio directamente al fruto pueden reducir este problema, una nutrición correcta, con la forma nitrogenada apropiada, es muy importante para minimizar los riesgos de aparición de la podredumbre apical.

Cuando las plantas de tomate empiezan la fase reproductiva, el amonio puede perjudicar tanto el crecimiento de la planta como la cosecha final.

Sin embargo, el N amoniacal es necesario para controlar el pH del sustrato de los cultivos en invernadero. Así, los agricultores necesitan ajustar cuidadosamente la relación amonio-nitrato, quitando las fuentes de nitrógeno amoniacal temporalmente si el pH es demasiado bajo.

Respuestas similares se han encontrado en la susceptibilidad de las plantas al fusarium y a la podredumbre de la raíz (Figura 16). En estas circunstancias, el nitrato inhibe el desarrollo de enfermedades y disminuye los efectos del ácido fusárico, una toxina liberada por el patógeno.

**Figura 16**  
**Forma de Nitrógeno y Enfermedades de Raíz**  
Suiza



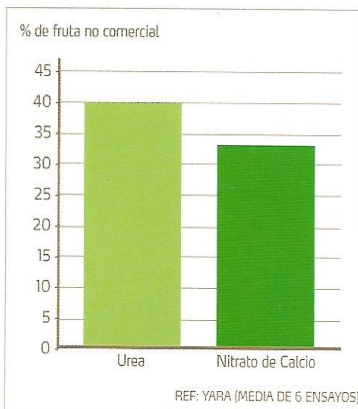
Pese a lo dicho, hay evidencia de que en situaciones de baja salinidad, el amonio favorece el desarrollo de las primeras hojas, en comparación al nitrógeno nítrico, y como resultado, permite soportar un período prolongado de producción.

### Requerimientos de Calidad

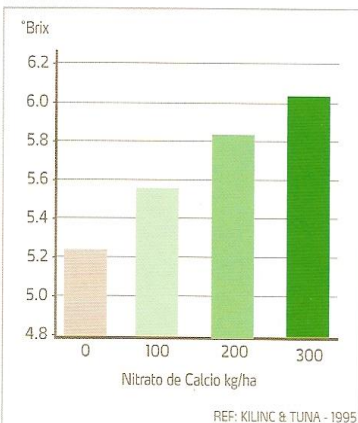
La calidad del cultivo también está afectada como resultado del uso excesivo de formas de nitrógeno amoniacales (Figura 17). Los frutos son más firmes y hay más comerciales cuando se utilizan formas nítricas (nitrato de calcio, nitrato de potasio).

Cantidades altas de nitratos, aplicadas como nitrato de calcio, incrementan los niveles de TSS medidos en °Brix (Figura 18).

**Figura 17**  
**Forma de Nitrógeno y Cosecha Comercial**  
India Oeste



**Figura 18**  
**Nitrógeno y TSS**  
Turquía

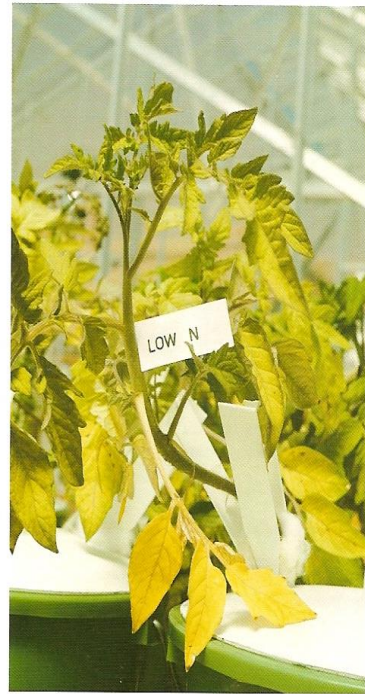


### Síntomas de Deficiencia y Exceso

Las plantas de tomate son delgadas y de apariencia erecta cuando hay déficit de nitrógeno. Las hojas son pequeñas y de color verde pálido o amarillento. Los síntomas se ven primero en las hojas más viejas y gradualmente avanzan a las nuevas. Si es severo, las hojas más viejas desarrollan un color púrpura antes de caer de la planta.

Las hojas pueden caer prematuramente y los frutos que se desarrollan son más pequeños de lo normal.

El exceso de nitrógeno resulta en hojas oscuras, un crecimiento exacerbado, menos flores y plantas que son más susceptibles a enfermedades y al estrés hídrico. El cuaje se reduce, el fruto es de color apagado y la maduración se retrasa debido a la supresión de K y Mg.



Deficiencia de Nitrógeno  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaida

## P Fósforo

El fósforo es un componente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN) y es esencial para la transferencia de energía dentro de la planta. Tiene efectos directos sobre el rendimiento y la calidad.

### Necesidades del Cultivo

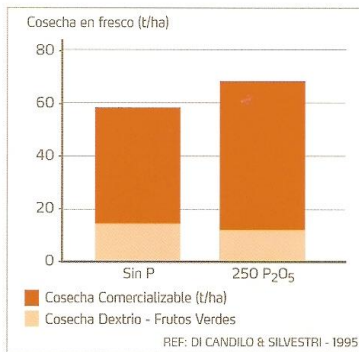
El fósforo no se requiere en grandes cantidades. Alrededor de 50 kg/ha es todo lo que se necesita durante la temporada para tomates cultivados en campo abierto.

El fósforo se utiliza durante el crecimiento inicial (Figura 7), asegurando un buen comienzo del cultivo, y nuevamente, en floración y cuaje.

En suelos con poco fósforo disponible, los fertilizantes fosfatados incrementan la producción y la maduración de frutos, reduciendo el número de frutos verdes en la cosecha (Figura 19).

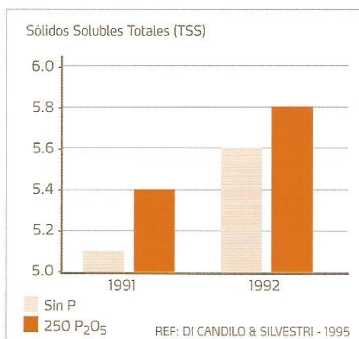
**Figura 19**

**Fósforo y Rendimiento en Tomates Para Procesado - Italia**



**Figura 20**

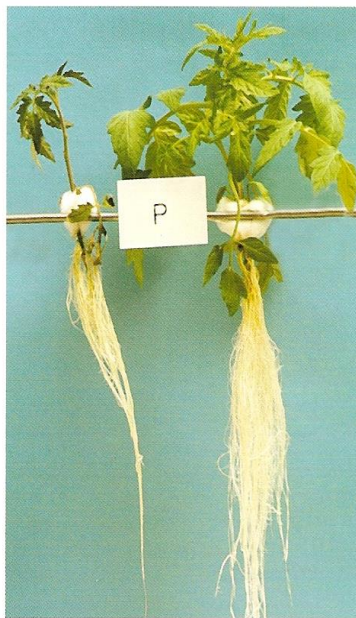
**Fósforo y TSS en Tomate Para Procesado - Italia**



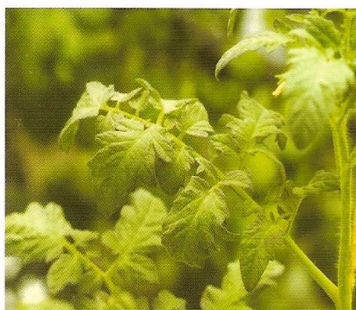
En los mismos ensayos, el fósforo también asegura un incremento significativo de TSS, mejorando la calidad para procesado (Figura 20).

### Síntomas de Deficiencia y Exceso

Ante deficiencias de fósforo los tomates tienen hojas erectas y rígidas, de color entre verde oscuro y verde azulado. El tallo es delgado y fibroso con coloraciones púrpuras. La floración y fructificación son pobres, los frutos son pequeños, firmes y amarillean prematuramente. En algunas variedades, la deficiencia de fósforo también puede aparecer como pequeñas áreas marrones que se desarrollan en la zona entre los nervios de las hojas más bajas.



Deficiencia de Fósforo  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaida



Deficiencia de Fósforo  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

## K Potasio

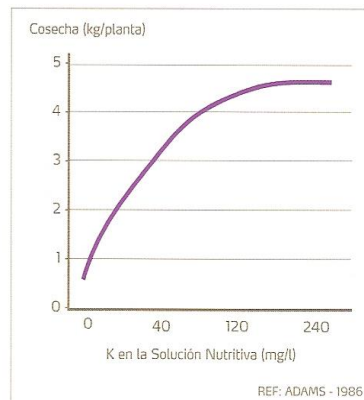
El potasio mantiene el balance iónico y el estado hídrico en la planta. También participa en la producción y transporte de azúcares en la planta; activación de enzimas; y síntesis de proteínas. El potasio también es necesario para la síntesis de pigmentos, principalmente licopeno.

### Necesidades del Cultivo

Los tomates tienen requerimientos relativamente altos de potasio, comparados con el nitrógeno, con aplicaciones típicas por encima de los 300 kg/ha. Altos niveles producen altos rendimientos (Figura 21).

**Figura 21**

**Potasio y Rendimiento Reino Unido**



El potasio es necesario durante toda la temporada y es un componente principal del fruto, con alrededor de 250 mg K por cada 100 gr, una concentración muy alta si se compara con la de fósforo, con 25-40 mg/100 gr de fruto. Normalmente la planta toma entre 2.6 y 3.6 kg de K por cada tm de tomate cosechado (Figuras 8 y 9).

En sistemas de fertirrigación se mantienen entre 100-200 mg/l de potasio en la solución. En invernaderos con lana de roca como sustrato, esta tasa es mucho más alta. Una aplicación de 9,5 mmol K/l (370 ppm) es necesaria para asegurar los 8 mmol K/l (312 ppm) deseados en la zona de la raíz. Cuando se riega por goteo en cultivos al aire libre, aplicaciones de 300-400 kg/ha son comunes para rendimientos de entre 65-90 t/ha.

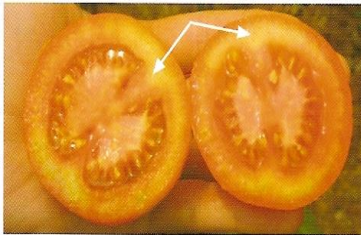
Es importante mantener un buen balance entre el potasio, el magnesio y el calcio. Demasiado potasio restringe la absorción de los otros cationes.

### Requerimiento de Calidad

El potasio cumple un papel importante en la calidad del fruto al determinar los niveles de azúcares, así como las características de maduración y almacenaje.

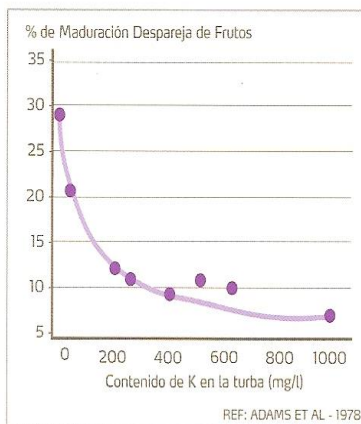
Una aplicación inadecuada de potasio lleva a lo siguiente:

- Maduración despereja (Figura 22).
- Maduración con manchas y gran cantidad de tejido interno blanco (Figuras 23 y 24).
- Incremento de zonas verdes en la parte superior del fruto (Figura 25).
- Formas irregulares y frutos huecos.

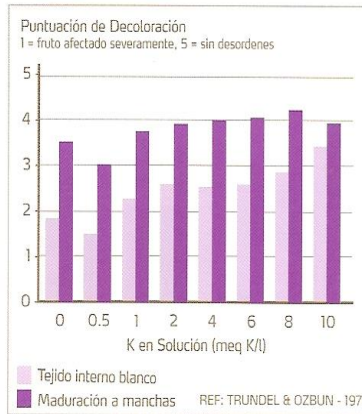


Tejido Interno Blanco

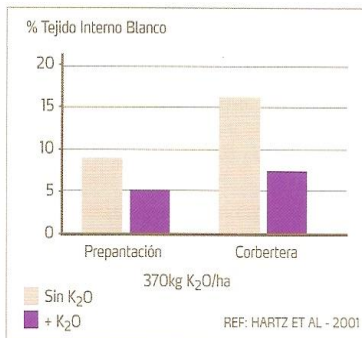
**Figura 22**  
Potasio y Maduración de Fruto  
Reino Unido



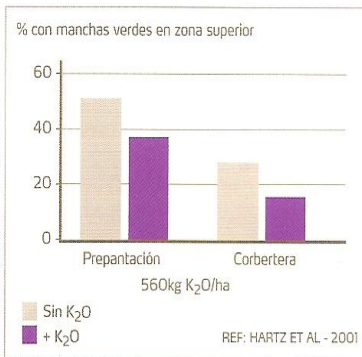
**Figura 23**  
Potasio y Maduración con Manchas  
Canadá



**Figura 24**  
Potasio y Defectos de Color  
EEUU

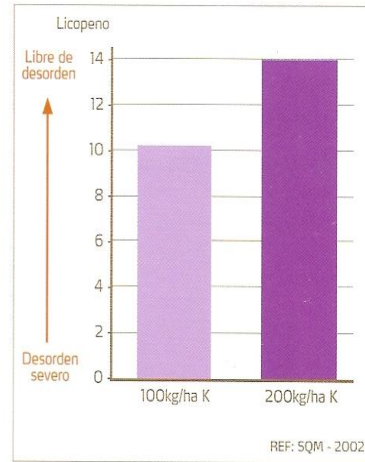


**Figura 25**  
Potasio y Defectos de Color  
EEUU



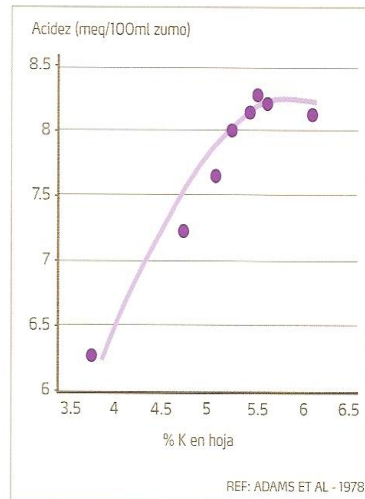
Bajos niveles de potasio pueden también llevar a una coloración pobre y a la disminución de la síntesis de licopeno (Figura 26).

**Figura 26**  
Potasio y Síntesis de Licopeno  
Turquía



Niveles altos de potasio en la planta, incrementan la acidez del fruto y por tanto del zumo resultante (Figura 27).

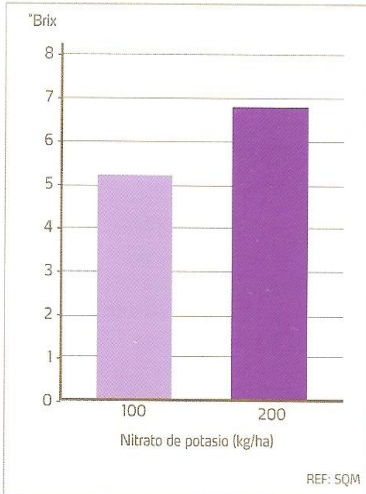
**Figura 27**  
Potasio y Acidez del Zumo  
Reino Unido



El potasio también incrementa los TSS en el tomate (Figura 28 y 29). Además de mejorar la calidad de los productos del tomate procesado, es también beneficioso en términos de mejora del sabor y para el almacenaje de los tomates en fresco

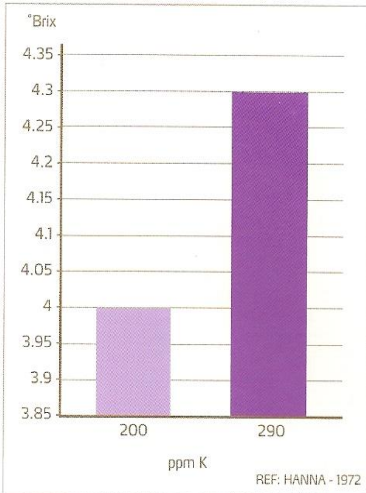
**Figura 28**

**Potasio y Brix en tomates al aire libre**  
Turquía



**Figura 29**

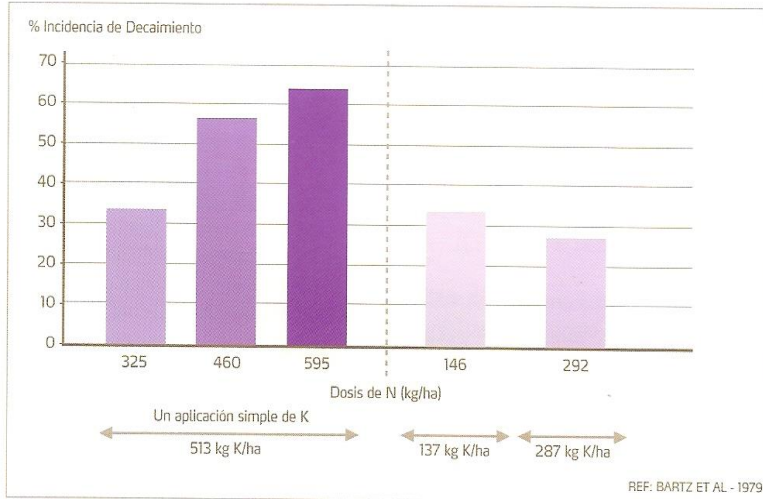
**Potasio y Brix en Invernadero.**  
Sudáfrica



Manteniendo niveles altos de potasio se puede ayudar a paliar los problemas de podredumbres causados por altos niveles de nitrógeno (Figura 30).

**Figura 30**

**Balance N:K y Podredumbres**  
EEUU

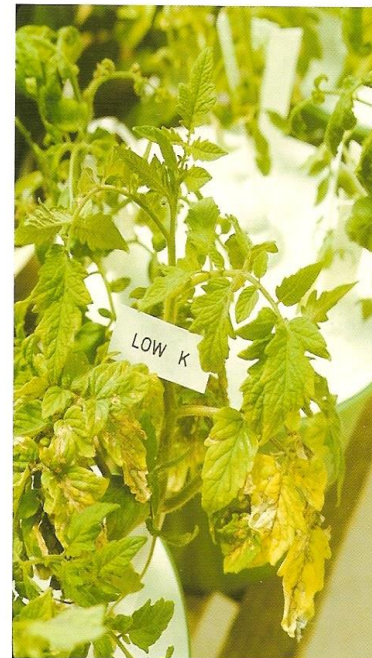


Por todas las razones anteriores es una práctica común incrementar las aplicaciones de K durante la fructificación.

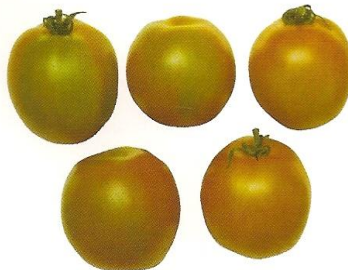
El uso de altos niveles de potasio es particularmente importante para mantener el ritmo de crecimiento de la planta bajo condiciones salinas. El exceso de sodio reduce la extracción y transferencia de potasio en la planta y, por lo tanto, los niveles de potasio deben ser incrementados para que la planta siga desarrollándose.

**Síntomas de Deficiencia**

Las hojas se tornan de color verde oscuro y se desarrollan puntos necróticos desde amarillentos a blancos cerca del margen de las hojas más viejas. Estos acaban formando manchas cloróticas, de color marrón, en los márgenes de la hoja. Los tomates de invernadero a menudo expresan deficiencias de K tales como la maduración a manchas. La fruta, además, carece de firmeza y tiene bajos niveles de °Brix.



Deficiencia de Potasio  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide



La deficiencia de Potasio provoca una maduración con manchas  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

# Ca Calcio

El calcio es un componente clave de la célula, manteniendo la estructura de la pared celular y estabilizando las membranas celulares.

Tiene además una influencia directa en el balance de las sales dentro de las células de la planta, y activa el potasio para regular la apertura y cierre de los estomas, que permiten el movimiento del agua en la planta.

El calcio mejora la germinación del polen; regula algunos sistemas de enzimas; e influencia el crecimiento y salud de las células y de los tejidos conductivos.

Tiene una influencia clave específica en la calidad del fruto de tomate, especialmente en relación con la podredumbre apical.

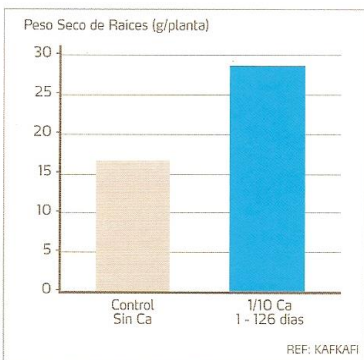
## Requerimientos del Cultivo

El calcio se necesita en grandes cantidades relativamente. En total, cerca de 170 kg/ha de calcio es absorbido por los cultivos de tomate al aire libre con rendimientos cercanos a 100 t/ha.

El calcio se necesita para el desarrollo de raíces y brotes, especialmente en prefloración (Figura 31), y se encuentra principalmente en las hojas, donde ayuda a mantener un crecimiento fuerte y vigoroso (Figura 10). Las pequeñas cantidades encontradas en el fruto son esenciales para producir tomates de buena calidad.

### Figura 31

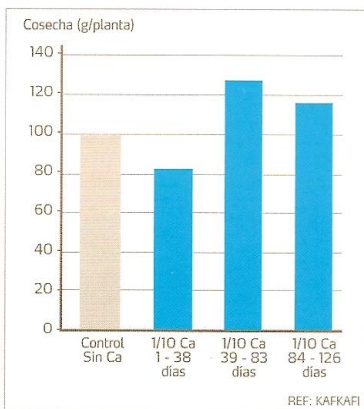
**Calcio y Crecimiento de Raíces**  
Sudáfrica



Mientras que su disponibilidad a medidos de la campaña es clave para obtener altos rendimientos.

En la fertirrigación que aplica calcio solo en ciertos periodos, antes o después en el ciclo, probablemente no ayude a elevar los rendimientos, pero sí tendrá un impacto en el crecimiento de las raíces y en la calidad del fruto (Figura 32).

**Figura 32**  
**Calcio y Rendimiento**  
Sudáfrica



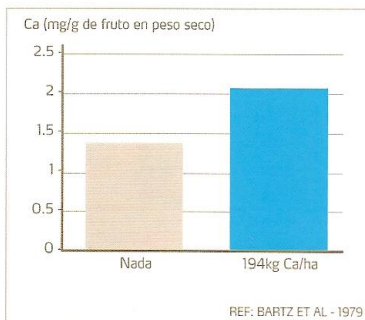
Así, es una práctica común aplicar Calcio durante toda la temporada para aumentar los niveles en los tejidos, y también durante la maduración del fruto, maximizando el potencial de calidad y las condiciones para el almacenaje.

Los fertilizantes amoniacales son antagonistas con la absorción de calcio. Reducen el pH del suelo y la absorción de agua, así como la transpiración.

La aplicación de cobertera con nitrato de calcio también es una forma de aumentar los niveles de calcio en el fruto con éxito (Figura 33).

### Figura 33

**Calcio y Contenido en Fruto**  
EEUU

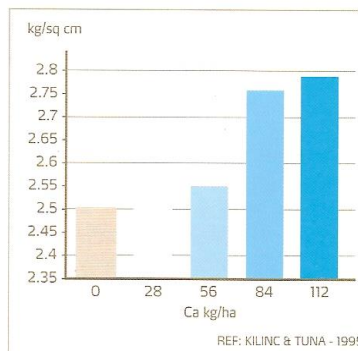


## Requerimientos de Calidad

El calcio es necesario para mantener una buena estructura del fruto y una buena calidad. Una aplicación adecuada mejora la firmeza del tomate (Figura 34), e incrementa los TSS.

### Figura 34

**Calcio y Firmeza del fruto**  
Turquía

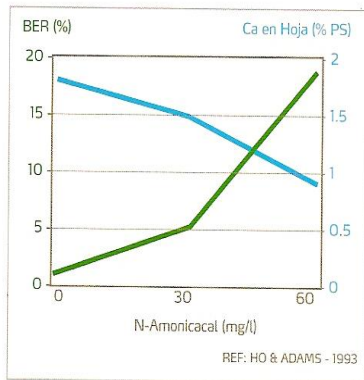


Las carencias de calcio están intrínsecamente ligadas a la aparición de podredumbre apical. El problema ocurre durante el período de máxima expansión del fruto, un par de semanas después de la polinización. En ese momento, cualquier factor que restrinja el suministro de calcio al fruto aumentará el riesgo de podredumbre apical. Uno de los factores inductores más comunes es el estrés hídrico, tanto por exceso como por defecto. En condiciones de alta humedad, la transpiración se hace más lenta y la absorción de calcio – que es únicamente transportado a través del flujo de la transpiración- es limitada.

Bajo condiciones de exceso de agua, la nitrificación del suelo se reduce, y como resultado, los niveles de amonio aumentan en el suelo. En esta situación, el amonio compite con el calcio por la absorción, lo que genera un aumento del riesgo de aparición de podredumbre apical (Figura 35).

**Figura 35**

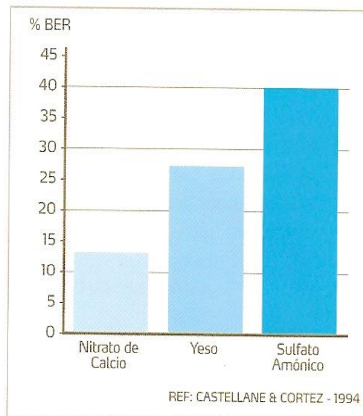
**Calcio Absorbido y Amonio**



Como resultado de la competencia entre cationes, el uso abusivo de amonio como fuente principal de nitrógeno, incrementa significativamente la incidencia de podredumbre apical (Ver la sección sobre nitrógeno en la página 22 para más detalles y Figura 36).

**Figura 36**

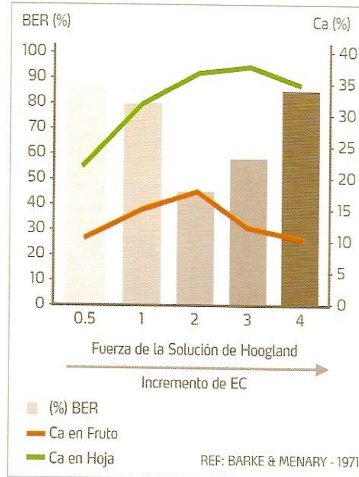
**Calcio y Podredumbre Apical Brasil**



La salinidad también restringe la absorción de calcio, lo que aumenta el riesgo de podredumbre apical (Figura 37). Esto se debe a la mayor competencia con otros cationes y el aumento de la utilización del calcio para el desarrollo de las hojas y el xilema, más que para la acumulación en el fruto.

**Figura 37**

**La salinidad incrementa el riesgo de podredumbre apical Australia**



La incidencia de la podredumbre apical además se incrementa con un aclareo excesivo de frutos. Esto se debe a que los frutos que quedan crecen de forma muy vigorosa, lo que genera una extracción y distribución mala del calcio.

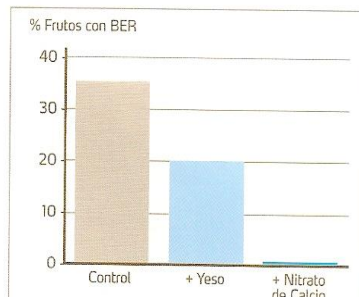
Para evitar este problema, algunos expertos recomiendan que el número mínimo de frutos por racimo debe ser de 5 en el racimo 1, 6 en el racimo 2 y 7 en el racimo 3.

Como regla general, frutos con concentraciones de calcio superiores al 0,12 % no desarrollan podredumbre apical.

La mejor forma de asegurar un buen aporte de calcio es usar nitrato de calcio como fuente de calcio (Figuras 38 y 39).

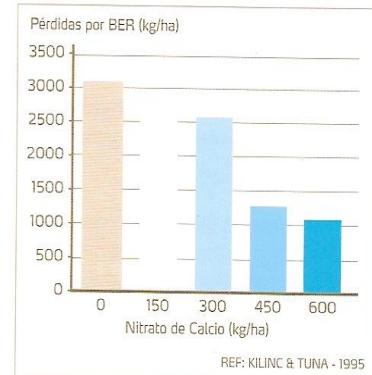
**Figura 38**

**Nitrato de Calcio y podredumbre apical España**



**Figura 39**

**Nitrato de Calcio y podredumbre apical Turquía**



Como complemento al uso de la cantidad y la forma apropiada de calcio, los agricultores pueden reducir al mínimo los riesgos de podredumbre apical en invernadero mediante:-

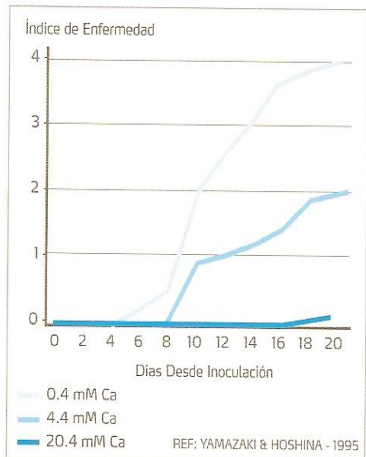
- Mantener la concentración del calcio por encima de 150 ppm en el sustrato, o 400 ppm en invernaderos con lana de roca. Controlando el vigor de la planta y la proporción entre fruto y hoja. Incrementando la humedad durante el día, para reducir la transpiración y el transporte preferencial de calcio a la hoja con respecto al fruto.
- Manteniendo la temperatura de las raíces durante la noche entre 18-20°C, para mejorar la absorción de calcio y su redistribución en los frutos.
- Pulverizaciones de calcio directamente a los nuevos frutos.
- Evitando el uso excesivo de amonio, manteniéndolo en menos del 10 % del total de N.
- Equilibrando la proporción K/Ca. El potasio excesivo (>500 ppm) restringe la absorción de calcio.
- Evitando el exceso de magnesio (>150 ppm).
- Manteniendo una buena proporción entre agua y aire en el sustrato.

El calcio también tiene influencia sobre otra serie de características de calidad:

- Contenido de caroteno – coloración del tomate
- Resistencia a enfermedades tales como podredumbre bacteriana (Figura 40) y marchitamiento por esclerotinia (Figura 41). Es interesante ver que en el ensayo de marchitamiento, la aplicación temprana de calcio más soluble, con nitrato de calcio, fue más efectiva que la de sulfato de calcio (yeso).

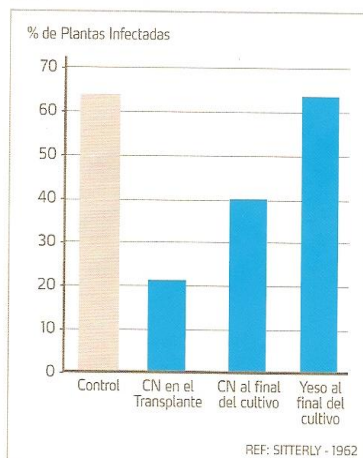
**Figura 40**

**Calcio y Resistencia a Podredumbre Bacteriana**  
Japón



**Figura 41**

**Calcio y Resistencia a Esclerotinia EEUU**



- El exceso de calcio en el fruto puede llevar a la deposición de cristales amarillos, de oxalato de calcio, en su parte superior. Este desorden, conocido como mancha dorada, induce un aspecto esponjoso del fruto y debilita la piel, acortando su vida útil. Alta humedad y la incidencia de la luz del sol directamente en el fruto potenciarán la mancha dorada. Mediante un programa nutricional equilibrado, especialmente entre el potasio y el calcio, se minimizará la aparición, tanto de mancha dorada como de podredumbre apical (Tabla 12).

**Tabla 12**

**Relación K/Ca, podredumbre apical y mancha dorada.**

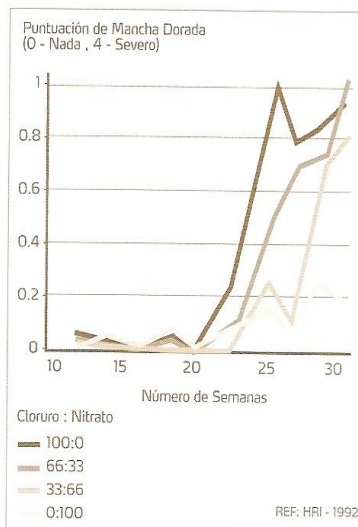
K/Ca	BER %	Mancha Dorada %
0.5	0.7	50.0
1.0	3.4	20.7
1.5	3.5	15.8
2.0	4.6	16.7

REF: NUKAYA ET AL - 1995

- Una alta concentración de cloruro incrementará el riesgo de mancha dorada en comparación a nitrato (Figura 42).

**Figura 42**

**Cloruro y Mancha Dorada**  
Reino Unido



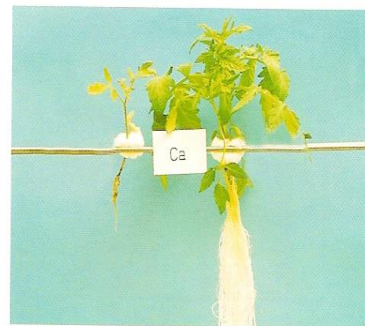
## Síntomas de Deficiencia y Exceso

El síntoma más obvio es la podredumbre apical. Sin embargo, la deficiencia provoca también que los nuevos brotes se quemen, y la muerte de los ápices de crecimiento, tanto en raíces como en los tallos. Las hojas de los plantones se tuercen y desarrollan manchas necróticas amarillas, marrones, o púrpuras, empezando en el margen de la hoja y extendiéndose a través de las zonas entre los nervios. Los ápices de crecimiento mueren pronto. En plantas adultas, los bordes de las hojas más jóvenes se tornan marrones, y algunas áreas entre los nervios, amarillas. Los ápices de crecimiento mueren y los botones florales no se desarrollan.

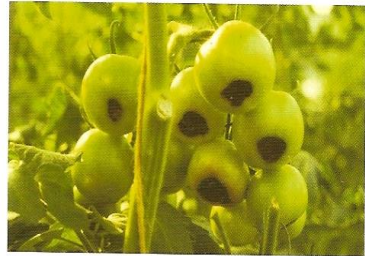
Al aire libre, la podredumbre apical es más frecuente en suelos ácidos y aquellos con altos contenidos salinos, y además, la falta de calcio puede causar la rotura vascular en la base de la planta, provocando que se seque. Este problema prevalece bajo condiciones de baja humedad del suelo.

Los cultivos que crecen en suelos calcáreos también necesitarán calcio, debido a que este elemento no está necesariamente disponible para la planta debido a su baja solubilidad.

Cuando el calcio es aplicado en exceso, las deficiencias de magnesio y potasio pueden aumentar como resultado del desequilibrio entre nutrientes.



Deficiencia de calcio  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide



Blossom end rot  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

# Mg Magnesio

El magnesio se requiere para muchos procesos, incluyendo la transferencia de energía y la síntesis de proteínas. Con el 20-25 % del magnesio total de la planta localizado en los cloroplastos, es particularmente importante para la producción de clorofila.

En un cultivo de tomate se utilizan hasta 60 kg/ha de magnesio. Un aporte regular es necesario durante todo el ciclo de cultivo (Figura 7).

La absorción de magnesio puede ser disminuida por un exceso de otros cationes ( $K^+$ ;  $NH_4^+$ ;  $Ca^{2+}$ ), por lo que es importante mantener un balance adecuado para no comprometer la absorción de Mg.

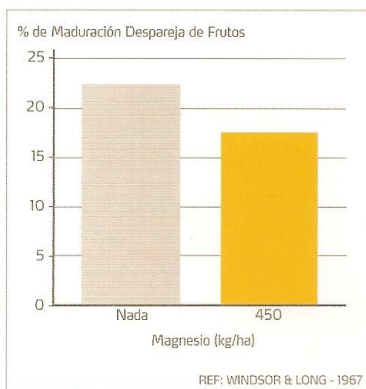
Se requiere tener un cuidado especial en los sistemas de fertirrigación para asegurar que el magnesio, el potasio y el calcio estén equilibrados.

## Calidad del Cultivo

El magnesio es particularmente importante para asegurar una maduración pareja con frutos bien formados (Figuras 43 y 44).

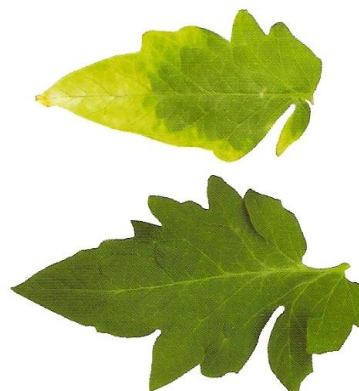
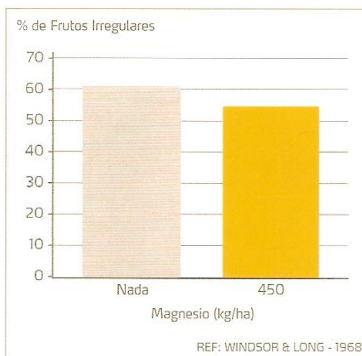
**Figura 43**

**Magnesio y Desórdenes de Maduración**  
Reino Unido



**Figura 44**

**Magnesio y Forma de Fruto**  
Reino Unido



Deficiencia de Magnesio (arriba), normal (abajo)  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide

## Síntomas de Deficiencia y Exceso

Los síntomas de deficiencia de Mg empiezan en la zona inferior de la planta, en las hojas más viejas, y luego van subiendo en la planta. Los frutos parecen madurar de manera uniforme pero la madurez es, a menudo, retrasada.

Las deficiencias también pueden aparecer en la zona media de las plantas con una gran carga de frutos, pero es normalmente transitoria.

Cuando las deficiencias son menos severas, las hojas viejas presentan un aspecto quebradizo, y los tejidos entre los nervios se curvan hacia arriba.

Cuando la deficiencia es severa, la clorosis progresa entre los nervios, desde el margen de las hojas hacia el interior. Las venas pequeñas también se vuelven cloróticas, pero las más grandes permanecen de color verde oscuro.

A medida que avanza la carencia, la clorosis entre los nervios se vuelve más intensa, de color entre amarillo y naranja y llegan a aparecer manchas necróticas, que pueden desarrollarse juntas o en bandas de color marrón.

Finalmente, las hojas más viejas mueren, la planta completa se vuelve amarilla y el rendimiento es afectado severamente.

El exceso de magnesio puede resultar en desequilibrios, y así, se muestra en forma de deficiencias de calcio y/o potasio.



Deficiencia de Magnesio  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide



Diferentes niveles de la deficiencia de magnesio  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

# S Azufre

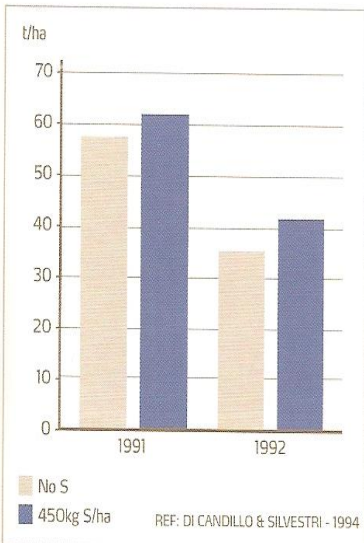
El azufre es un componente importante de los enzimas y otras proteínas, y se necesita para la formación de la clorofila.

La absorción de azufre es de alrededor de 0,6 kg/t de fruta. Es requerido durante toda la temporada, y debe ser aplicado en momentos similares a los del nitrógeno.

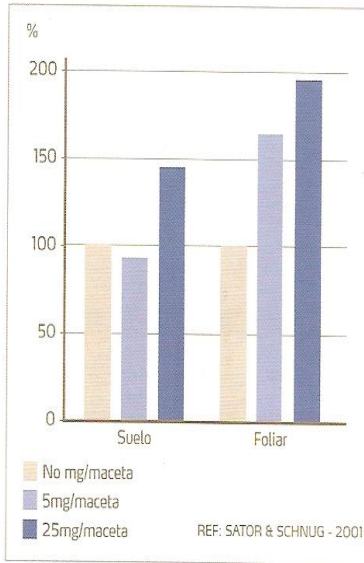
El azufre es importante para el rendimiento (Figura 45). Las aplicaciones foliares pueden ser más efectivas que el fertilizante aplicado al suelo (Figura 46).

El azufre, además, incrementa los TSS en el fruto (Figura 47)

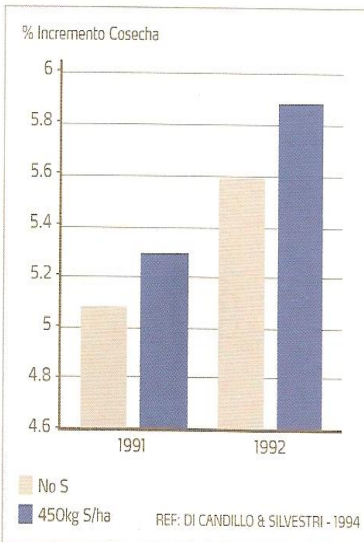
**Figura 45**  
**Azufre y Rendimiento**  
Italia



**Figura 46**  
**Azufre y Rendimiento**  
Alemania



**Figura 47**  
**Azufre y TSS**  
Italia



## Síntomas de Deficiencia y Exceso

Las deficiencias son muy raras en invernaderos, aunque pueden ser encontradas en tomate cultivado sobre sustratos de turba, donde no se utilizan fertilizantes con azufre.

Las plantas de tomate con carencia de azufre son más bajas. Las hojas son tiesas y curvadas hacia abajo. Desarrollan clorosis entre los nervios, pasando del verde amarillento al amarillo. Los tallos, venas y peciolo se vuelven púrpuras. Pueden aparecer manchas necróticas en los márgenes y en las puntas de las hojas más viejas así como en los tallos.

La deficiencia de azufre es similar en apariencia a la de nitrógeno, sin embargo, comienza en las hojas jóvenes debido a que el azufre no es tan móvil como el nitrógeno dentro de la planta.



Deficiencia de Azufre  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide

La deficiencia de cualquiera de los micronutrientes restringirá el rendimiento y la calidad del cultivo. Es importante así mismo, asegurarse de que el manganeso y el boro no estén presentes en exceso porque pueden resultar tóxicos y restringir el crecimiento.

## B Boro

El micronutriente más importante es el boro, el cual, si es aplicado en cantidad insuficiente, puede producir frutos con zonas acorchadas en su parte superior, y en casos de una deficiencia severa, puede restringir la formación del fruto.

El boro está involucrado en la producción de ácidos nucleicos y fitohormonas, en el movimiento de azúcares en la planta y en el metabolismo y translocación de los carbohidratos. Es esencial para la integridad estructural de la planta, e importante para la viabilidad del polen y el desarrollo de flores y frutos.

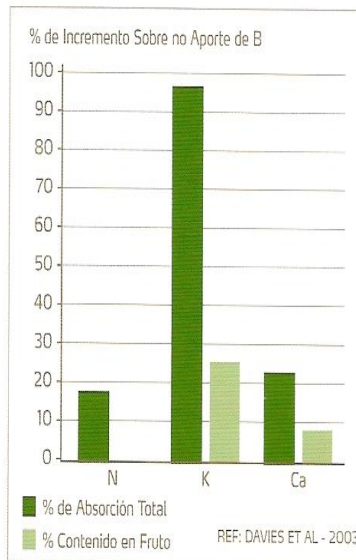
### Necesidades del Cultivo

La deficiencia de boro afecta al crecimiento de las raíces y destruye las membranas celulares. Esto tiene un efecto directo en el mecanismo de absorción de la planta y también restringe el volumen de suelo explorado por el sistema radicular. Si este nutriente es deficiente, entonces la absorción de otros como el nitrógeno, potasio o calcio, se reduce notablemente (Figura 48).

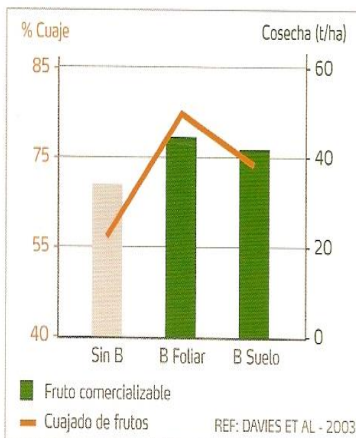
El boro también tiene un papel importante en la germinación del polen y en el cuaje.

Aplicaciones en prefloración aseguran un buen cuajado y poder alcanzar completamente el potencial de rendimiento (Figuras 49, 50 y 51). Además, mientras que el boro se absorbe rápidamente del suelo, es al mismo tiempo relativamente inmóvil en la planta, así que las aplicaciones foliares son a menudo más efectivas.

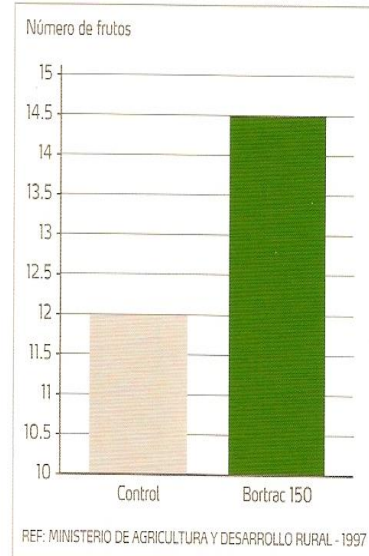
**Figura 48**  
Efecto del Boro en la Absorción de N, K y Ca  
Reino Unido



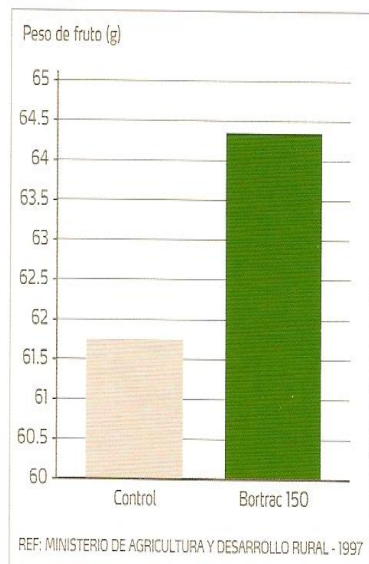
**Figura 49**  
Boro y Rendimiento  
EEUU



**Figura 50**  
Boro y Número de Frutos  
cv. TN49, Vietnam



**Figura 51**  
Boro y Peso del Fruto  
cv. TN49, Vietnam

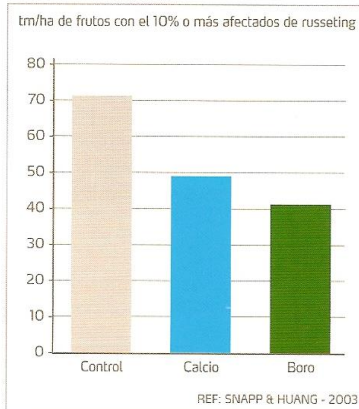


## Calidad del Cultivo

La carencia de boro (y calcio) incrementa la incidencia de russetting (Figura 52).

**Figura 52**

**Boro, Calcio y Russetting**  
EEUU

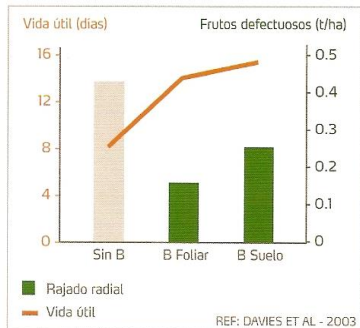


Russetting

También tiene un efecto beneficioso en la prevención del rajado y la vida útil del fruto. Cualquier grieta en la zona superior del fruto incrementa la pérdida de agua y la susceptibilidad al ataque de patógenos (Figura 53).

**Figura 53**

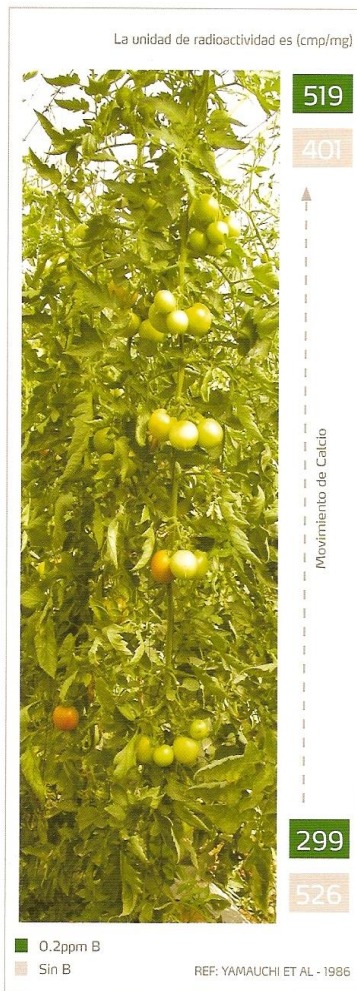
**Boro y Vida Útil**  
EEUU



El boro mejora la movilidad del calcio a través de la planta. Experimentos con calcio marcado radioactivo aplicado en combinación con boro, han mostrado mayores niveles de calcio en las hojas más altas (Figura 54).

**Figura 54**

**Boro y Movimiento del Calcio**  
Japón



## Síntomas de Deficiencia

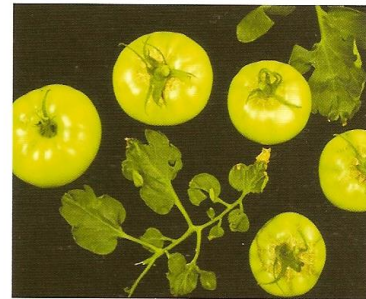
En casos de deficiencia severa, los ápices de crecimiento del brote principal y de las ramas laterales mueren y el cultivo se pierde. Las hojas más jóvenes se quedan pequeñas, se curvan hacia adentro y se deforman. Tienen manchas cloróticas entre las venas, amarillas o naranjas –la característica más notoria- y los nervios mismos pueden volverse amarillos o púrpuras.

Las hojas más viejas tienen un aspecto verde amarillento. Los peciolo son quebradizos y se caen súbitamente, lo que conlleva bajos rendimientos. Las raíces son cortas con ápices engrosados y necróticos.

El fruto no es comercializable por sus grietas o acorchamientos, que pueden parecer marcas de viento. Los frutos pueden además mostrar un pardeamiento interno.



Deficiencia de Boro  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)



La deficiencia de Boro provoca que los frutos se rajen  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

## Toxicidad del Boro

Los excesos de boro pueden bloquear el transporte de calcio, por lo que es importante ser preciso en las cantidades aplicadas.

El boro se acumula en los bordes de las hojas, volviéndose negras. Cuando los niveles son particularmente altos se produce la muerte de raíces.

Los suelos con altos niveles de boro pueden ser mejorados mediante lixiviación.



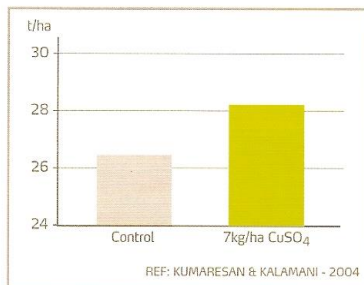
Toxicidad de Boro  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

## Cu Cobre

El cobre está relacionado con el metabolismo de los carbohidratos y del nitrógeno. Está además relacionado a la actividad de la clorofila.

Las noticias de deficiencias de cobre son raras en invernadero. En cultivos al aire libre, son más comunes en suelos arenosos u orgánicos.

**Figura 55**  
Cobre y Rendimiento  
India



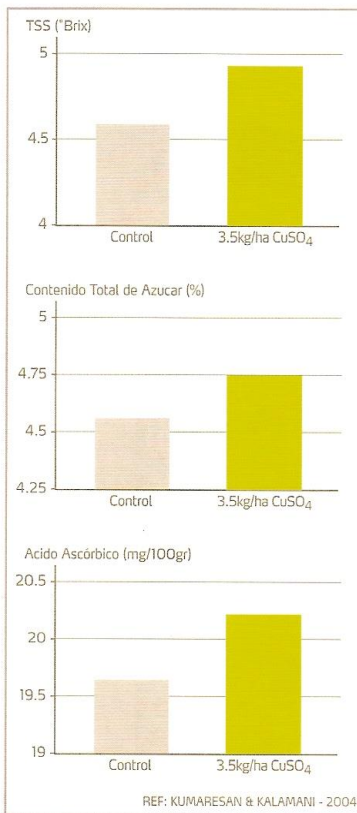
### Síntomas de Deficiencia

Cuando se han visto deficiencias, los síntomas incluyen hojas jóvenes pequeñas, pálidas y torcidas, y brotes mal desarrollados. La planta se marchita severamente. Pueden aparecer lesiones necróticas oscuras en las venas principales. Las flores no se forman o son inusualmente escasas.



Deficiencia de Cobre  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

**Figura 56**  
Cobre y Calidad de Fruto  
India



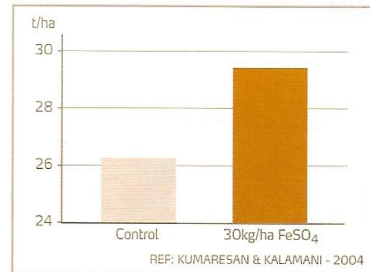
## Fe Hierro

El hierro es necesario para la reducción de nitratos y sulfatos y está asociado a la formación de clorofila y la fotosíntesis.

Las aplicaciones de hierro (p.ej., foliares o en fertirrigación) pueden ser utilizadas para incrementar la producción de hojas al principio y la productividad del cultivo.

Se requieren entre 60-300 mg/kg antes de la floración para un crecimiento completo (Figura 57).

**Figura 57**  
Hierro y Rendimiento  
India



### Síntomas de Deficiencia

Los síntomas de deficiencia de hierro siempre comienzan en las más jóvenes, las áreas entre los nervios se vuelven cloróticas, permaneciendo éstos verdes.

La clorosis se vuelve más y más intensa a medida que la deficiencia empeora, y los nervios también pueden volverse cloróticos. La hoja completa puede tornarse blanca, con marcas necróticas.

Con el tiempo, los síntomas afectan a las hojas más viejas, y las hojas que se desarrollan nuevas permanecen pequeñas. El crecimiento de toda la planta se atrofia.



Deficiencia de Hierro  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

## Mn Manganeso

El manganeso se requiere para la formación de la clorofila y las reacciones de oxidación-reducción en las células. Está también involucrado en la síntesis del ácido ascórbico (Vitamina C).

Pese a que rara vez se ven, las deficiencias transitorias pueden ocurrir durante las temporadas húmedas, o en suelos arenosos, o de turbas con un pH alto. El manganeso no es muy móvil en la planta y las deficiencias se previenen mejor usando aplicaciones foliares.

Las deficiencias temporales de Mn son conocidas como "crecimiento moteado", y se han visto durante etapas de crecimiento rápido de la planta.

### Síntomas de Deficiencia

Los tomates son muy susceptibles a las deficiencias de manganeso. Las áreas entre nervios desarrollan marcas doradas amarillentas, que le dan a la hoja una apariencia manchada. Todas las venas, incluyendo las que son muy pequeñas, y las zonas que las rodean permanecen verdes. Los peciolo y los tallos pueden desarrollar síntomas semejantes. Pocas flores y frutos se desarrollarán si la deficiencia es severa.

### Toxicidad por Manganeso

La toxicidad por manganeso puede ocurrir en tomates cultivados en suelos con bajo pH, o donde se han aplicado fertilizantes acidificantes en exceso. Los tallos y los peciolo, especialmente en las zonas de los nódulos, pueden mostrar lesiones necróticas.



Deficiencia de Manganeso  
Foto cortesía de la Universidad de Adelaide



Deficiencia de Manganeso  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

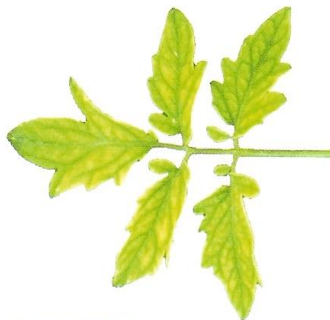
## Mo Molibdeno

El molibdeno es un componente importante de la nitrato reductasa y por tanto, está involucrado en el metabolismo del nitrógeno, así como en la síntesis de pigmentos y clorofila.

Dado que el molibdeno sólo es requerido en cantidades muy pequeñas (0,6 mg/kg), la deficiencia puede presentarse muy rápidamente. La deficiencia es más común en los suelos ácidos que en los alcalinos.

### Síntomas de Deficiencia

Los síntomas de deficiencia de molibdeno empiezan en las hojas más viejas, como una clorosis moteada entre las venas. Las venas más pequeñas también se vuelven cloróticas. Los márgenes de las hojas se curvan hacia arriba. Con deficiencias severas en desarrollo, las áreas cloróticas forman manchas necróticas. Las hojas empiezan a morir por el ápice hasta su muerte completa. El desarrollo de las flores puede ser inhibido y el rendimiento se verá severamente reducido.



Deficiencia de Molibdeno  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)

## Zn Zinc

El zinc está involucrado en un serie de reacciones enzimáticas, como lo están el manganeso y el magnesio. Es importante para el desarrollo y funcionamiento de los reguladores de crecimiento (ej., auxinas), que influyen en la elongación de los entrenudos. Está también involucrado en el desarrollo de los cloroplastos.

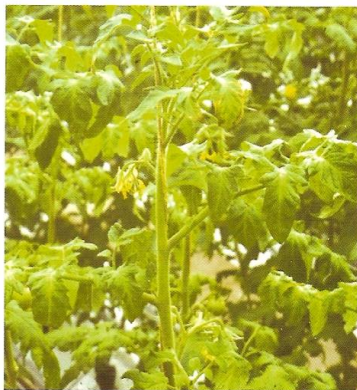
El zinc puede ser aplicado durante toda la temporada. Las aplicaciones deben asegurar que haya suficiente zinc disponible antes de floración. Las aplicaciones foliares son el medio más apropiado para tratar la deficiencia. Las deficiencias ocurren raramente en cultivos de invernadero.

### Síntomas de Deficiencia

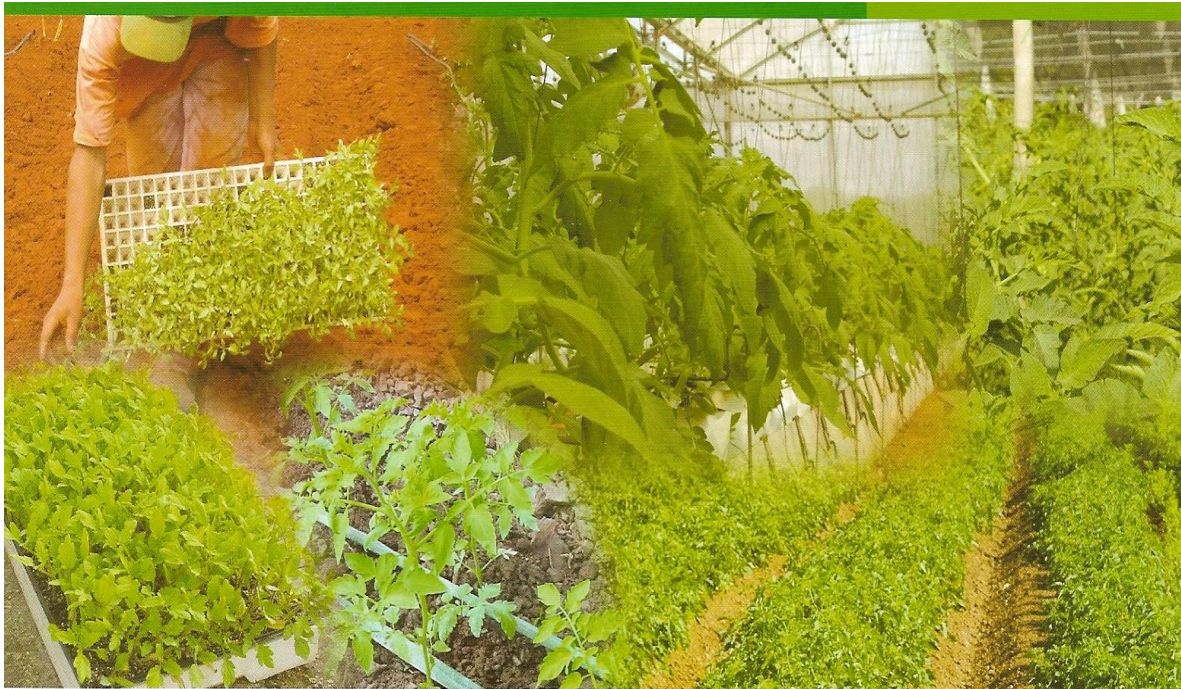
Los entrenudos son más delgados y cortos (entre un tercio y la mitad comparados con los de una planta normal) dándole a la planta una apariencia de roseta. Las hojas son pequeñas y gruesas, lo que le da una apariencia como de cuero. Dado que los pelos de la hoja son densos, las hojas más pequeñas tienen un brillo verde gris plateado. En las hojas aparecen manchas cloróticas irregulares verdes amarillentas. Estas pueden convertirse en lesiones necróticas marrones en toda la hoja. Las hojas mueren y caen; luego mueren las flores. Todo fruto que se desarrolle será pequeño y madurará prematuramente.

Niveles altos de fósforo o condiciones anaeróbicas pueden inducir las deficiencias.

Cuando el zinc está disponible en exceso, las plantas muestran síntomas parecidos a los de la deficiencia de hierro, ej., clorosis de las hojas jóvenes.



La deficiencia de Zinc acorta los entrenudos  
Foto cortesía de Applied Plant Research, Naaldwijk (NL)



➤ **Establecimiento** ————— ➤ **Crecimiento Vegetativo**

**Efectos de los Nutrientes**

**Nitrógeno y Potasio** – promueven un fuerte crecimiento inicial  
**Fósforo** – maximiza el desarrollo de las raíces  
**Calcio** – potencia el crecimiento de raíces y hojas  
**Boro, Zinc, Manganeso, Molibdeno** y otros Micronutrientes – aseguran un buen crecimiento de brotes

**Efectos de los Nutrientes**

**Nitrógeno y Potasio** – aseguran un crecimiento continuo  
**Potasio y Magnesio** – máxima acumulación en las hojas antes de la floración  
**Calcio** – mantiene un crecimiento vigoroso de la planta  
**Boro, Zinc, Manganeso, Molibdeno** y otros Micronutrientes – aseguran que el crecimiento no se verá limitado





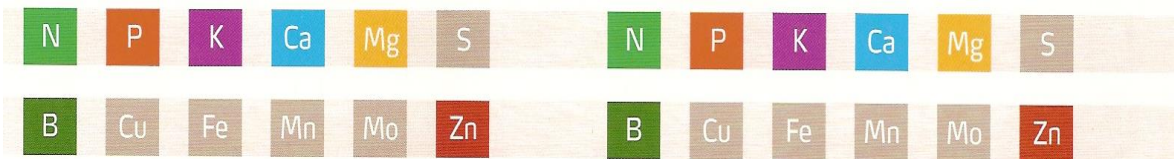
► **Floración - Cuaje** —————> **Maduración del Fruto - Madurez** —————>

**Efectos de los Nutrientes**

**Nitrógeno y Potasio** – mantienen el crecimiento de la planta y maximizan el número de flores  
**Fósforo** – desarrollo del fruto  
**Calcio** – Fomenta el desarrollo reproductivo máximo del cultivo  
**Magnesio** – mejora la floración y la producción del cultivo – los máximos requerimientos son en esta etapa  
**Boro y Zinc** – maximizan la floración, su desarrollo y la fructificación

**Efectos de los Nutrientes**

**Nitrógeno** – en pocas cantidades, para mantener el llenado de frutos  
**Fósforo** – potencia la calidad nutricional del tomate  
**Potasio** – maximiza niveles altos de potasio en el fruto y minimiza los desórdenes  
**Calcio** – mantiene una buena firmeza y calidad del fruto, al tiempo que reduce los riesgos de podredumbre apical  
**Magnesio** – los máximos requerimientos para la producción de fruta de calidad están en esta etapa  
**Boro y Zinc** – aseguran una maduración homogénea



## BIBLIOGRAFIA

ABAD, M.; V. NOGUERA; M. D. MARTÍNEZ; J. MARTÍNEZ. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154

BERNAT, C. J. 1990. *Invernaderos: Construcción, Manejo y Rentabilidad*. Editorial AEDOS, España, 143 p.

BRUNET LEYVA, R.; N. VALLE RAMOS; E. ACOSTA MORALES. 1991. *La Producción de Tomates en Condiciones de Hidroponía*. Editorial Científico-Técnico. La Habana, Cuba. 63 p.

CASTAÑO-ZACATA J.; lo DEL RÍO MENDOZA. 1994. *Guía para el Diagnóstico y Control de Enfermedades en Cultivos de Importancia Económica*. 3ra. Edición. Zamorano, Honduras: Zamorano Academic Press. 302 p.

GUENKOV, G. 1974. *Fundamentos de la Horticultura Cubana*. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. pp. 123-143.

MARTÍNEZ CALDEVILLA, E.; M. GARCÍA LOZANO. 1993. *Cultivos Sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo*. Compendio de Horticultura Num. 3. Ediciones de horticultura. Barcelona, España. 123p.

MAROTO BORREGO, J. V. 1989. *Horticultura Herbácea Especial*. Tercera Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 335-371.

MIRANDA VELÁZQUEZ, 1.; J. HERNÁNDEZ ORTIZ. 2002. *Hidroponía*. Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 73 p.

Bosso B. et al. 1989, *El experto horticultor*, edit. AGT editor S.A.

Castaños C. M. 1993, *Horticultura manejo simplificado* edit. UACH.

Halfacre R.G. 1979, *Horticultura*, edit. AGT editor S.A.

López T. M. 1994, *Horticultura* edit. Trillas

Pérez G. M. 1997, Mejoramiento genético de hortalizas edit. UACH

SEP/Trillas. 1997, Horticultura, manuales para educación agropecuaria, edit. Trillas

Velazco H. E. y Nieto A. R. 2006, Cultivo de Jitomate en hidroponía e invernadero UACH, Departamento de Fitotecnia

Valadez L. A. 1997, Producción de hortalizas edit. UTEHA, Noriega editores

# **EL TRABAJO ES LA ESENCIA DE LA VIDA DE UN HOMBRE**

## **La Calidad del Agua de Riego**

Tanto la calidad del agua de riego como el manejo adecuado del riego son esenciales para la producción exitosa de cultivos.

La calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables / óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego.

Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época seca / época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo.

Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. En esta revisión, se discuten las propiedades químicas del agua de riego.

Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales en el agua, así como a los parámetros derivados de la composición de sales en el agua; parámetros tales como la CE / TDS (Conductividad Eléctrica / sólidos totales disueltos), RAS (Relación de Adsorción de Sodio), la alcalinidad y la dureza del agua.

## **El origen de las Sales Disueltas en el Agua de Riego**

La principal fuente natural de las sales minerales en el agua es la erosión de las rocas y minerales. Otras fuentes secundarias incluyen la deposición atmosférica de sales oceánicas (sales en el agua de lluvia), el agua salina de las aguas subterráneas y el aumento de la intrusión de agua de mar en los acuíferos de las aguas subterráneas. Productos químicos de fertilizantes, que lixivian a las fuentes de agua, también pueden afectar a la calidad del agua de riego.

## Problemas Relacionados con la Calidad del Agua de Riego

### La salinidad del agua de riego

El principal problema relacionado con la calidad del agua de riego es la salinidad del agua. La salinidad del agua se refiere a la cantidad total de sales disueltas en el agua, pero no indica que sales están presentes.

El nivel alto de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad del agua para el cultivo (debido a la presión osmótica), aunque el suelo puede parecer mojado, y causa la reducción del rendimiento.

Por encima de cierto umbral, la reducción en el rendimiento de los cultivos es proporcional al aumento en el nivel de salinidad. Los distintos cultivos varían en su tolerancia a la salinidad y por tanto tienen diferentes umbrales y diferentes tasas de reducción del rendimiento.

Los parámetros más comunes para determinar la calidad del agua de riego, en relación con su salinidad, son la **CE y el TDS**.

TDS ppm o mg/L	CE dS/m	Riesgo de Salinidad
<500	<0.8	Bajo
500 - 1000	0.8 - 1.6	Medio
1000 - 2000	1.6 - 3	Alto
> 2000	> 3	Muy Alto

Algunas ecuaciones fueron desarrolladas para estimar el potencial de rendimiento, basado en la salinidad del agua de riego. Por ejemplo:

% Rendimiento (del máximo) = 100 - b(CEe-a)

Cuando:

(b) es el porcentaje de reducción en el rendimiento relativo por unidad de incremento en la salinidad

(a) es el umbral de la CE que puede tolerar el cultivo y la CEe es la conductividad eléctrica de la pasta de suelo saturado, que se mide en el laboratorio.

La CEe es proporcional a la conductividad eléctrica del agua de riego, en función del porcentaje del agua de riego lixiviado por debajo de la zona de las raíces.

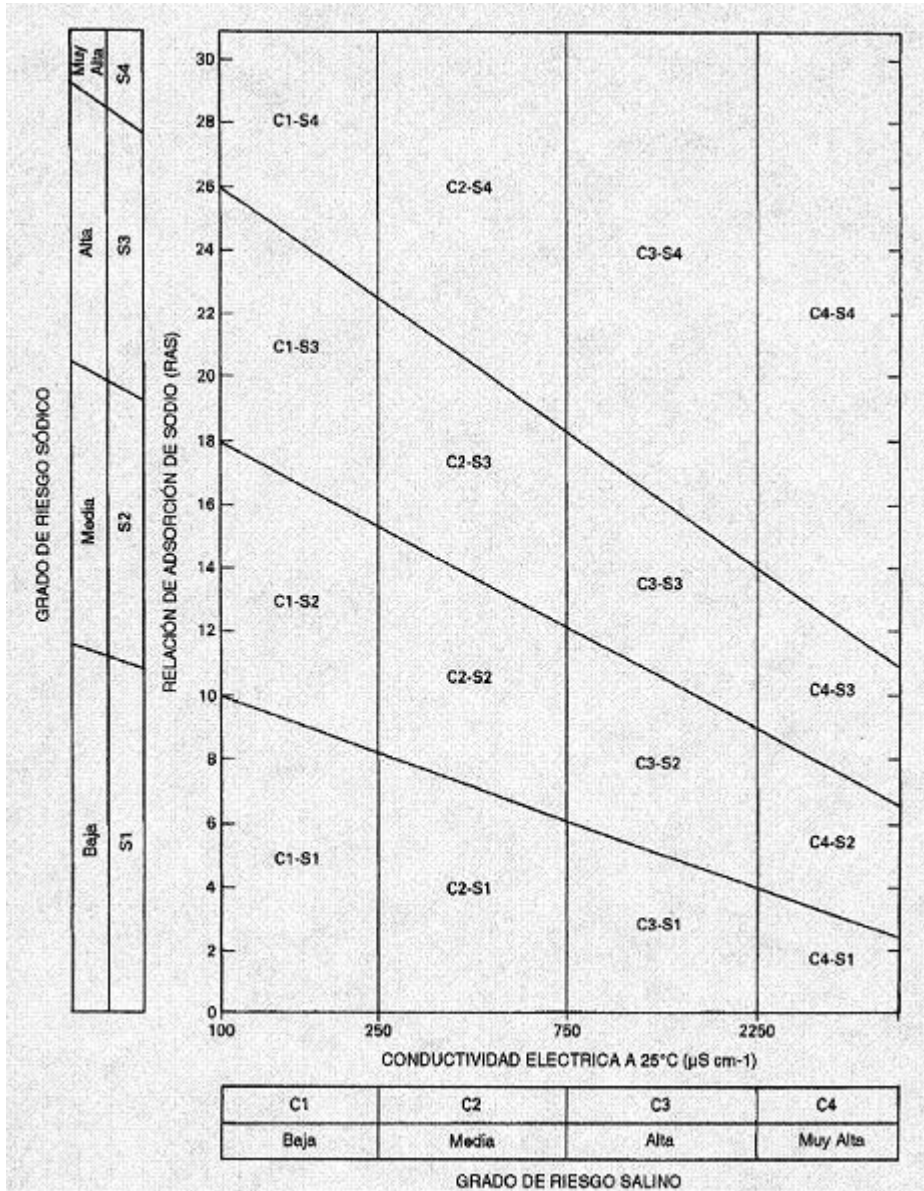
### **El Riesgo del Sodio y la Infiltración del Agua de Riego**

El parámetro utilizado para determinar el riesgo de sodio es el RAS (Relación de Adsorción de Sodio). Este parámetro indica la cantidad de sodio en el agua de riego, en relación con el calcio y el magnesio. El calcio y el magnesio tienden a contrarrestar el efecto negativo de sodio.

$$SAR = \frac{Na \text{ (meq/l)}}{\sqrt{\frac{Ca \text{ (meq/l)} + Mg \text{ (meq/l)}}{2}}}$$

Altos niveles de SAR podrían resultar en un daño de la estructura del suelo y en problemas de infiltración de agua. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire.

Irónicamente, cuanto más alta es la salinidad, menor será el efecto negativo del sodio sobre la estructura del suelo. Así, cuando los niveles de sodio en el suelo son altos en relación con el calcio y el magnesio, es decir, el RAS es alto, lavar el suelo con agua de buena calidad sólo empeorará el problema.



## La Toxicidad de Iones Específicos

La calidad del agua de riego también puede ser determinada por la toxicidad de iones específicos.

La diferencia entre un problema de salinidad y un problema de toxicidad es que la toxicidad ocurre dentro de la planta misma, como resultado de la acumulación de un ion específico en las hojas.

Los iones más comunes que pueden causar un problema de toxicidad son el cloruro, el sodio y el boro. Al igual que con la salinidad, los cultivos difieren en su susceptibilidad a estos iones.

Se debe prestar atención especial a la toxicidad de boro, porque ocurre en concentraciones muy bajas, a pesar de que es un nutriente esencial para la planta.

Un nivel tóxico de tan solo un ion en el agua de riego podría hacer el agua inadecuada para el riego.

Sin embargo, hay algunas prácticas de gestión que pueden ayudar a reducir los daños.

Estas prácticas incluyen lixiviación adecuada, aumento de la frecuencia de riegos, evitar el riego por aspersión, evitar el uso de fertilizantes que contienen cloruro o boro, selección apropiada de cultivos, etc .

## Alcalinidad y pH

La **alcalinidad** es la suma de las cantidades de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) en el agua y se expresa como mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La alcalinidad del agua es una medida de la capacidad del agua de resistir a cambios repentinos en el pH.

Si la alcalinidad es demasiado baja, cualquier adición de fertilizantes ácidos inmediatamente bajará el pH del agua. En las plantas de contenedor y en la hidroponía, iones liberados por las raíces de la planta también puede cambiar rápidamente el pH si la

alcalinidad del agua es baja.

Rango	Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )
Baja	< 75
Media	75 - 150
Alta	> 150