

16  
2e



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**HIDROPONIA:  
PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA**



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

TRABAJO MONOGRAFICO  
DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

ROSALIA CRESPO CHIAPA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.,

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCION . . . . .                     | 1  |
| HISTORIA . . . . .                         | 4  |
| GENERALIDADES . . . . .                    | 8  |
| Ventajas . . . . .                         | 8  |
| Desventajas . . . . .                      | 13 |
| Importancia . . . . .                      | 16 |
| NUTRICION DE LA PLANTA . . . . .           | 24 |
| Minerales y Elementos Esenciales . . . . . | 24 |
| El Suelo . . . . .                         | 28 |
| SOLUCION NUTRITIVA . . . . .               | 31 |
| Fuentes de Sales Nutrientes . . . . .      | 32 |
| Solución Molar. . . . .                    | 38 |
| Solución Normal . . . . .                  | 38 |
| Partes por millón. . . . .                 | 39 |
| Cálculos. . . . .                          | 42 |
| Solución Madre . . . . .                   | 46 |
| Método Normal. . . . .                     | 48 |
| Adición Fertilizantes en Seco. . . . .     | 49 |
| Calidad del Agua . . . . .                 | 50 |
| pH de la Solución . . . . .                | 51 |
| Soluciones Nutritivas típicas. . . . .     | 56 |
| EL MEDIO (SISTRATO) . . . . .              | 59 |
| Clasificación . . . . .                    | 64 |
| Esterilización. . . . .                    | 66 |

|   | Pags. |
|---|-------|
| Síntomas de deficiencias . . . . .            | 68    |
| Sales para corregir deficiencias . . . . .    | 73    |
| MÉTODOS DE CULTIVO EN HIDROPONIA . . . . .    | 74    |
| Cultivo en Agua . . . . .                     | 76    |
| Técnica de Película Nutritiva (NFT) . . . . . | 80    |
| Cultivo en Niebla . . . . .                   | 87    |
| Cultivo en Grava . . . . .                    | 87    |
| Sistema Americano . . . . .                   | 88    |
| Sistema Holandés (Filippo) . . . . .          | 90    |
| Recomendaciones y Aplicaciones . . . . .      | 97    |
| Cultivo en Arena (agregado) . . . . .         | 98    |
| Irrigación por goteo . . . . .                | 101   |
| Sub-irrigación . . . . .                      | 102   |
| Irrigación por capilaridad . . . . .          | 104   |
| Alimentación por gravedad . . . . .           | 105   |
| Bolsas de plástico . . . . .                  | 109   |
| Recomendaciones y Aplicaciones . . . . .      | 114   |
| LUZ . . . . .                                 | 115   |
| Calidad de la luz . . . . .                   | 117   |
| TEMPERATURA . . . . .                         | 121   |
| HUMEDAD . . . . .                             | 122   |
| SIEMBRA . . . . .                             | 124   |
| TRASPLANTE . . . . .                          | 126   |
| POLINIZACIÓN . . . . .                        | 128   |
| PLAGAS Y ENFERMEDADES . . . . .               | 129   |

|   | Págs. |
|---|-------|
| HORTICULTURA . . . . .                  | 132   |
| Especies fácilmente manejables. . . . . | 137   |
| Plantas comunes . . . . .               | 140   |
| CONCLUSIONES . . . . .                  | 147   |
| BIBLIOGRAFIA . . . . .                  | 148   |

## OBJETIVO GENERAL

*El objetivo de esta revisión bibliográfica, es el de recopilar los datos más recientes acerca de hidroponía a nivel "pequeña y mediana escala", pudiendo llevar los conocimientos a cualquier espacio cerrado y analizar algunas técnicas de producción para-beneficio colectivo mediante sistemas y procedimientos sencillos y bajo costo.*

## INTRODUCCION

El agua y la temperatura son dos de los elementos del clima que impactan, más fuertemente a las actividades agrícolas. El potencial productivo de una planta no puede llegar a manifestarse si la disponibilidad de agua es relativamente pequeña, y si su período de crecimiento se ve construido por las temperaturas bajas sobre todo por aquellas que causan heladas.

Como resultado particular de la acción e interacción compleja y dinámica de los factores : latitud, orografía, distribución de las masas terrestres con respecto a las marinas, corrientes marítimas y la circulación atmosférica, el territorio nacional se ve sometido a un clima predominante desfavorable para la producción agrícola, lo cual explica que el 65% de las pérdidas en las cosechas se deba a causas meteorológicas, básicamente relacionadas con agua y temperatura. {35}.

Es conveniente resaltar algunas características especiales del clima de México :

- 1.- La precipitación se presenta en la mayoría del territorio como lluvias torrenciales.
- 2.- La precipitación se concentra en dos períodos del año, siendo las más importantes la de verano y la otra la de invierno.
- 3.- El promedio de precipitación en el País, es ligeramente superior a los 700 mm anuales contra 811 promedio mundial, sin embargo seis Estados reciben cerca de 40% de las precipitaciones : Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Oaxaca y la sierra de Chihuahua. {35}.
- 4.- Dieciséis Estados presentan precipitaciones promedios superiores a 800 mm, que pueden considerarse el mínimo apropiado para la agricultura, mientras que el resto del País, sobre todo el Norte, Noroeste y Centro presentan promedio muy inferiores a los 800 mm, por lo que la agricultura se restringe a la disponibilidad de riego o-

un temporal con escaso rendimiento. En resumen la mayor extensión territorial presenta características de aridez o de semi-aridez.

- 5.- De particular importancia resulta el hecho de que en la altiplanicie mexicana el inicio tardío de la temporada de lluvias reduce el lapso aprovechable para el cultivo de las plantas, que de por sí ya es limitado por las heladas (46).

Después del clima el segundo factor limitante para la actividad agrícola lo constituye el suelo, pues, como señala Bassols (35), cuando menciona que del total de 36.9 millones de hectáreas aprovechables para la agricultura, 20.7 millones son de buenos suelos, 10.5 de calidad regular y 5.7 millones de calidad deficiente. Además 14.4 millones de los suelos de buena calidad se localizan en regiones con lluvias deficientes.

Por otro lado, México es uno de los países más montañosos de la Tierra, pues, de sus 196.7 millones de has. sólo 71 millones, o sea 36% presenta pendientes inferiores a 25%, de donde resulta que el 64% del territorio presenta pendientes que limitan severamente la agricultura

Por si esto fuera poco, el fenómeno de erosión, según la Dirección de Conservación del Suelo y Agua, SARH (46), el 64.12 del territorio presenta desde erosión moderada hasta completa, siendo más notable en los Estados de Tlaxcala, México, Puebla, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Nuevo León, Coahuila, Oaxaca y Sonora.

Aunado a lo anterior existen suelos, en diversas regiones del País, que presentan los siguientes problemas: salinidad, drenaje deficiente, pedregosidad y hasta capa arable somera.

Al mencionar esto, sólo se quiere demostrar que en el territorio nacional se encuentran regiones donde el clima y el suelo hacen de la agricultura una actividad incosteable y peligrosa, a menos que se encuentren alternativas tecnológicas que permitan jugar de una manera menos aleatoria con los recursos del medio ambiente.



Entre las alternativas usadas en otras partes del mundo, destaca la hidroponía, pues es un sistema de producción agrícola que utiliza de manera más eficiente el recurso agua y menosprecia los limitantes impuestos por el suelo. Además puede evitarse el desarrollo de los componentes tóxicos orgánicos que resultan de las excreciones de las raíces, la descomposición de las plantas muertas y los residuos animales.

En cultivos hidropónicos, las condiciones ambientales son totalmente contrarias al desarrollo de las infinitas bacterias, hongos y nemátodos que prosperan en los terrenos.

Paralelamente a todo lo anterior la hidroponía es un sistema cuya utilización racional permitirá indirectamente evitar la erosión y agotamiento de los recursos naturales (agua, suelo vegetación) en esas regiones marginales.

## HISTORIA

Hace tres siglos, John Woodward, científico inglés y miembro de la Sociedad Real, llevó a cabo el primer experimento registrado relativo a la nutrición de las plantas. Él quería conocer si las plantas se mantenían de la tierra o del agua. Woodward descubrió que agregando pequeñas cantidades de tierra al agua en la cual las plantas crecían, daba como consecuencia plantas más sanas y resistentes.

Como resultado, él dió la teoría, que era la tierra y no el agua, de la cuál la planta tomaba sus nutrientes.

Sus descubrimientos contradecían la creencia que había venido dominando desde la Edad Media, de que en el crecimiento de las plantas "el agua es casi todo en todo". La tierra sólo sirve para que la planta permanezca erguida y esta creencia estuvo basada en la experiencia de siglos de los campesinos de occidente. Cuando no se regaban las plantas, estas morían, a pesar de que la tierra fuera rica.

El trabajo de Woodward fue la base de muchos más experimentos acerca de la nutrición de las plantas. Mientas, la pregunta, acerca de la fuente de los nutrientes de las plantas no fue resuelta, hasta mediados del siglo XIX; le precedieron descubrimientos relacionados igualmente importantes. Estos descubrimientos junto con la determinación de la fuente de nutrientes, hizo posible el desarrollo de la ciencia de hidroponía. [36, 41].

En 1792 el brillante científico Joseph Priestley descubrió que las plantas puestas en una cámara con un nivel alto de "aire fijo" (dióxido de carbono), absorbería gradualmente el dióxido de carbono y dejaría escapar oxígeno. John Inger-Housz, dos años más tarde llevó el trabajo de Priestley a un paso más adelante; demostrando que las plantas puestas en una cámara llena de dióxido de carbono podrían reemplazar el gas con oxígeno durante muchas horas si la cámara era puesta en la luz del sol. Dado que la luz solar por sí misma no había tenido efecto en en recipientes

te de dióxido de carbono, era cierto que la planta era la responsable de esta transformación tan importante. Inger-Housz estableció que este proceso era más rápido en condiciones de luz brillante y que sólo las partes verdes de la planta estaban involucradas.

En 1868, el profesor Julius Von Sachs publicó la primera fórmula estandar para una solución nutriente que podía ser disuelta en agua y en la cual las plantas podían crecer exitosamente. Esto marcó el fin de la larga búsqueda de la fuente de nutrientes vitales para una planta. Había sido establecido que una planta absorbe agua a través de sus raíces y entonces la envía hacia arriba para ser distribuida por toda la planta. Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta fueron encontrados en la tierra. La aplicación de agua a la tierra causaba que los nutrientes se disolvieran y fueran llevados a la planta puesta en agua. Se encontró que las plantas poseían la capacidad de extraer estos nutrientes del agua que absorbían.

Curiosamente, nadie entonces se dio cuenta del potencial de aplicación de estos descubrimientos. Hacer crecer plantas en agua y soluciones nutritivas era visto sólo como una técnica de laboratorio para el estudio de las plantas. No fue sino hasta 1936 que esto tuvo aplicaciones en la agricultura W.F. Gericke y J. R. Traveretti de la Universidad de California publicaron los resultados exitosos del cultivo de tomates en agua y solución nutriente.

En el método Gericke, las plantas fueron puestas en recipientes a prueba de oxidación, en manparas de malla de alambre. Las raíces crecieron a través de la malla dentro del agua y de la solución nutriente con que fue llenada la base del recipiente. Entre la malla y el líquido, fue dado un espacio para que las raíces pudieran recibir oxígeno también. Así la emoción inicial por la hidroponía rápidamente creció; un gran número de comerciantes empezaron a experimentar con la técnica, así mismo, científicos, agrónomos y colegios de agricultores simplificaron y perfeccionaron los procedimientos. Fracazaron, ya que este método requería un grado de habilidad y experiencia determinado; dando como resultado un rotundo fracaso, desilusionándolo y todo lo referente a hidroponía desapareció de la publicidad, que alguna vez la nombrara la solución a la -

hambriuna mundial, sin embargo, se seguía trabajando en ella.

Trónicamente, ni Gericke y ningún otro científico que le precedió se puede decir que descubrieron los principios de la hidroponía. Ellos la formularon, la probaron, la aplicaron, pero aún siglos antes de los experimentos de John Woodard, los mismos principios ya había sido aplicados. [36].

El mejor ejemplo lo constituyen los aztecas en México. Una tribu nómada que se asentó en el Lago de Tenochtitlán, situado en el Valle Central de México. Tratados hostilmente por sus vecinos más poderosos sin tierra arable, los aztecas sobrevivieron debido a su gran poder de inventiva. Ya que no tenían tierra para hacer crecer sus cultivos, determinaron manufacturarla mediante los materiales que tenían a la mano.

En lo que debió haber sido un largo proceso de prueba y error, aprendieron a construir balsas de enredaderas acuáticas y cañas, amarraron los tallos junto con las raíces. Entonces dragaron tierra del fondo del lago y la apilaron en las balsas. Debido a que la tierra procedía del fondo del lago, esta era rica en variedad de partículas orgánicas, material en descomposición que contenía grandes cantidades de nutrientes. Estas balsas, llamadas chinampas, tenían verduras, flores y aún árboles plantados. Las raíces de las plantas crecían hacia abajo a la fuente de agua y a través del piso de la chinampa.

Estas balsas que nunca se hundieron, fueron algunas veces acompañadas de otras, formando islas flotantes hasta de 60 metros de largo aproximadamente. Algunas chinampas tenían una choza para el jardinero residente. En los días de mercado, el jardinero quizás jalaba las chinampas hasta cerca del mercado y ahí mismo las cosechaba, picando y recogiendo las verduras como las iban comprando.

Los aztecas derrotaron y conquistaron a sus opresores. A pesar del gran tamaño de su imperio nunca abandonaron el lago. Su villa alguna

vez rústica se convirtió en una gran y magnífica ciudad y las chinampas proliferaron para surtir las demandas de la ciudad capital de México -- Central. El panorama de estas islas asombraron a los conquistadores españoles. En efecto, el espectáculo de una hilera de árboles suspendidos en el agua les debieron dejar perplejos. William Prescott, el historiador que hizo la crónica de la destrucción del Imperio Azteca por los Españoles, describió las chinampas como "islas maravillosas de un gran verdor con flores y verduras moviéndose como balsas sobre agua". - (33).

Aún cuando se puede identificar a México como la fuente de prácticas similares precedentes al desarrollo de la hidroponía, no se puede hacer una afirmación definitiva. Mientras las chinampas de los Aztecas no son precisamente hidroponía, ellos sí usaron muchos de los principios de la misma - entendiéndose como la posibilidad que las raíces existan en un medio ambiente de agua y el uso de un suelo mejorado.

Es ya sabido por todos nosotros; que la agricultura juega un papel muy importante en la existencia humana, además, que se ha distinguido por su innovación y el deseo de mejoramiento en sus cultivos; existiendo una basta información en la materia.

Dentro de estas innovaciones se encuentra la hidroponía que es una técnica que puede redundar en un beneficio socio-económico en cualquier País y cultura.

La hidroponía tiene el potencial de dar a la gente que quiere practicarla, la satisfacción de ver resultados exitosos en la medida que avanza, en el desarrollo de su propio esfuerzo.

## GENERALIDADES

El término hidroponía deriva de los vocablos griegos "hydro" o "hudor" que significa agua, y "ponos", equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como "trabajo del agua" o "actividad del agua".

Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutrientes 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 sinónimo de la palabra hidroponía tales como: cultivos sin suelos, nutricultura, quimicultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, etc. En la actualidad el término hidroponía es el más extendido y se usa en varios idiomas, razón por la cuál también se usará en este trabajo. (4,6).

### Ventaja de la hidroponía.

La hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola, presenta un gran número de ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como del económico, con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; entre los más sobresalientes se puede mencionar las siguientes:

**BALANCE IDEAL DE AIRE, AGUA Y NUTRIENTES:** con algunas excepciones, al utilizar un sistema de cultivo en suelos, es sumamente difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieran. Cuando el suelo se satura (irrigación o lluvia), el agua se encuentra disponible para las raíces en grandes cantidades pero el oxígeno del suelo tiende a ser limitante, a medida que el suelo va perdiendo agua, la cantidad de oxígeno disponible va en aumento. Después de pasar por un intervalo en que las proporciones de agua y oxígeno son óptimas, el agua tenderá a ser el factor limitante para el desarrollo de las plantas.

En hidroponía dadas las características del sistema, es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango óptimo requerido por los cultivos.

Los nutrientes se proporcionan al cultivo hidropónico junto con el agua, listos para ser asimilados en forma de solución balanceada y además con

La presión osmótica adecuada. Las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de los fertilizantes en el suelo desaparecen con un sistema del cultivo hidropónico.

**HUMEDAD UNIFORME:** bajo un sistema hidropónico la humedad del sustrato puede ser siempre uniforme y controlada. En el suelo, la falta de humedad o su exceso, constituyen causas frecuentes de pérdidas en el rendimiento o en la calidad.

**EXCELENTE DRENAJE:** esta característica, sumada a que los materiales usados como sustrato generalmente no se desintegran o parten fácilmente, da como resultado una excelente aireación a las raíces.

**PERMITE UNA MAYOR DENSIDAD DE POBLACION:** ya que los nutrientes no son limitantes, las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre 10 y 30%) que sus similares en suelo, aquí el factor que viene a limitar la densidad es la luz. (29).

**SE PUEDE CORREGIR FACIL Y RAPIDAMENTE LA DEFICIENCIA O EL EXCESO DE UN NUTRIENTE:** en el suelo, corregir una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de unión es cosa de meses o años, mientras que en el sistema mencionado, es como de unos días.

**PERFECTO CONTROL DE pH;** uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrientes y por lo tanto en el rendimiento de las plantas es el pH. En un cultivo sobre suelo el pH puede estar muy desviado del rango óptimo para una planta y su corrección, en la mayoría de los casos, puede ser difícil y costosa. En hidroponía, al trabajar con sustratos inertes, es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH a nivel deseado.

**NO SE DEPENDE TANTO DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS;** normalmente los cultivos de hidroponía se protegen contra los vientos fuertes, las granizadas, las altas y bajas temperaturas, sequías, etc. Esto permite una mayor expresión del potencial genético de las plantas y desde

luego del rendimiento, por lo que incluso se puede predecir con más seguridad el monto de la cosecha para planear su venta con anticipación. (46).

MAS ALTOS RENDIMIENTOS POR UNIDAD DE SUPERFICIE; esto resulta evidente si se conjugan las ventajas anteriores; algunos ejemplos se pueden apreciar en el cuadro siguiente.

RENDIMIENTO DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO

| Cultivo   | Rendimiento en Suelo<br>(ton/ha/cosecha) | Rendimiento en Hidroponía<br>(ton/ha/cosecha) |
|-----------|--|---|
| Jitomate  | 30 - 40                                  | 100 - 200                                     |
| Pepino    | 10 - 30                                  | 100 - 200                                     |
| Zanahoria | 15 - 20                                  | 55 - 75                                       |
| Remolacha | 56                                       | 105   |
| Papa      | 20 - 40                                  | 120   |
| Chile     | 20 - 30                                  | 60 - 80                                       |

Las pruebas más contundentes del mayor rendimiento por unidad de superficie de la hidroponía sobre los sistemas de cultivo en suelo, son los numerosos trabajos que se han realizado con una gran variedad de cultivos. (41).

MAJOR CALIDAD DE PRODUCTO ; el eficiente control sobre nutrición, aireación, etc., permite que los productos del sistema hidropónico sean más uniformes en tamaño, peso, color, etc., y de más alta calidad en el comercio, que los productos cultivados en el suelo. Por ejemplo los jitomates en hidroponía son, por lo general, de forma más regular y de tamaño más uniforme, menos acuosos y con pulpa más consistente, con altos porcentajes de azúcares, grasas y menos cantidad de fibra bruta. En -



general los contenidos de materia seca y de azúcar en hidroponía se han encontrado iguales o más grandes que los testigos en el suelo. Además, se han localizado marcados incrementos en los contenidos de ácido ascórbico, carotenos y tocoferoles. En algunas flores ha sido posible controlar la intensidad del color. En material cosechado es siempre limpio y libre de suelo u otro material extraño. (9).

**MAYOR PRECOCIDAD EN LOS CULTIVOS:** en cultivos hidropónicos anuales se ha encontrado que, aún al aire libre estos maduran, dependiendo de la especie, de 10 a 60 días antes que sus similares bajo condiciones de suelo.

**POSIBILIDAD DE CULTIVAR REPETIDAMENTE LA MISMA ESPECIE DE PLANTA:** la rotación de cultivos se desarrolla para mantener la fertilidad del suelo y controlar enfermedades que tienen su origen en el mismo. En hidroponía, el mantenimiento constante de la fertilidad es la esencia del sistema y dado que los organismos causales de muchas enfermedades en las plantas necesitan materia orgánica presente en el sustrato, el sistema puede mantenerse relativamente libre de ellas por otro lado, cabe recordar que los agregados usados en hidroponía son generalmente fáciles de esterilizar.

**SE PUEDEN PRODUCIR VARIAS COSECHAS AL AÑO;** esto implica desde luego un clima en el cual el cultivo pueda crecer durante todo el año o bien el uso de invernaderos, que sólo los altos rendimientos de algunos cultivos y el hecho de producir cosechas fuera de estación, pueden pagarles. La ventaja estriba en la posibilidad de capturar mejores mercados o abastecer uno solo durante todo el año. (6,9)

**UNIFORMIDAD EN LOS CULTIVOS:** en hidroponía la situación normal es que las plantas sembradas florecen y maduran a un mismo tiempo; esto tiene importancia desde luego en la programación de la cosecha y la venta del producto.

**SE REQUIERE MUCHO MENOR CANTIDAD DE ESPACIO PARA PRODUCIR EL MISMO RENDIMIENTO QUE EN EL SUELO:** este hecho es importante desde el punto

to de vista económico por requerir de menor cantidad de terreno para trabajar con hidroponía; también es importante ecológicamente. Como por ejemplo; en una selva habría que desmontar menos terrenos o bien, en un lugar con pendientes fuertes se podría trabajar haciendo una terraza, situaciones ambas que favorecen la conservación del suelo y de otros recursos.

**GRAN AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA:** En hidroponía, generalmente se recircula el agua y se riega por métodos de sub-irrigación en lechos impermeables. De esta manera, casi todo el gasto de agua es debido a la transpiración. Se requiere mucho menos agua para lograr iguales rendimientos. Se considera que se gasta aproximadamente 20 veces menos agua con un sistema hidropónico.

**REDUCCION DE LOS COSTOS DE PRODUCCION:** debido a menos gastos de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, etc., y a que no existen barbechos, escardas, etc., se ahorra tiempo y dinero. La eficiencia del sistema se logra mantener año con año a bajo costo.

**POSIBILIDAD DE UNA AUTOMATIZACION CASI COMPLETA:** en hidroponía muchas de las labores como : riego, luz artificial, etc., pueden automatizarse.

**PROPORCIONA EXCELENTES CONDICIONES PARA SEMILLERO:** en la germinación de bulbos, el trasplante y como revitalizador de plantas débiles - creciendo en el suelo.

**SE PUEDE UTILIZAR AGUA CON ALTO CONTENIDO DE SALES:** esto es posible por ajustarse la solución de acuerdo con las sales presentes en el agua y su reemplazo continuo. En los últimos años se ha trabajado con agua a concentraciones de sales semejante a la del mar, obteniéndose buenos resultados siempre y cuando el paso del agua por la raíz sea suficientemente rápido.

**MAYOR LIMPIEZA E HIGIENE:** mediante el cultivo hidropónico se elimina el riesgo de contraer enfermedades infecciosas, que como la disente-

ria tienen su origen en el consumo de vegetales cuyo suelo ha sido enriquecido con "aguas negras" o excrementos animales. El hecho de poder garantizar algunas hortalizas libres de organismos infecciosos (como la lechuga) les permite alcanzar precios más altos en el mercado. (9).

**POSIBILIDAD DE ENRIQUECER LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS CON SUSTANCIAS-COMO VITAMINAS O MINERALES:** esto puede representar una ventaja en la alimentación infantil o de hospitales.

**POSIBILIDAD DE UTILIZAR MATERIALES NATIVOS Y/O DE DESECHO;** es una ventaja de tipo económico realizar la construcción con materiales de desecho y utilizar como sustrato materiales abundantes y baratos en cada localidad en la que se desee establecer el cultivo hidropónico.

**POSIBILIDAD DE USAR MANO DE OBRA NO CALIFICADA:** debido a lo intensivo del cultivo hidropónico y aunque hay labores que se pueden automatizar, para una misma superficie se requiere de más gente en el sistema hidropónico que en un sistema de cultivo sobre suelo; algunos autores consideran que al seguir el método de Bentley, se requiere aproximadamente (para pepino o jitomate) ocho trabajadores por hectárea trabajando ocho horas durante todo el año. Esta posibilidad tiene gran importancia económica en Países en los que la desocupación representa un problema grave. (519).

**SE REDUCE EN GRAN MEDIDA LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RIESGOS DE EROSION:** pocos sistemas de producción (intensiva y altamente tecnificada) de alimentos poseen esta ventaja.

**CASI NO HAY GASTO EN MAQUINARIA AGRICOLA:** ya que no se requiere de tractores, arado u otro implemento semejante. (12).

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 se-

piense y surja 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 a continuación se discuten como desventajas de este sistema:

REQUIERE PARA SU MANEJO A NIVEL COMERCIAL DE CONOCIMIENTOS TÉCNICOS COMBINADO CON LA COMPRENSIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE FISIOLÓGIA 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 esas cualidades [por ejemplo un agrónomo especialista en hidroponía o una persona similar con conocimientos en hidroponía, primero en pequeña escala].

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. [13].

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. En los últimos años se crearon tipos de hidroponía y se han simplifica-

do 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 hecha.

Los argumentos anteriores no son válidos si se habla a pequeña escala, y mediana, en donde para tener éxito en el manejo del sistema hidropónico sólo se requiere seguir paso a paso ciertas recomendaciones sencillas.

A NIVEL COMERCIAL EL GASTO INICIAL ES RELATIVAMENTE ALTO: en efecto, el costo para establecer un sistema de cultivo en hidroponía a nivel comercial es alto, ya que por lo general, se tiene que construir camas y depósitos de concreto u otro material perdurable, comprar el material a usar como: sustrato, bombas, tuberías y a veces, hasta 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 puede equiparar los gastos en maquinaria agrícola como tractores, arados, etc., y el 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.

Las instalaciones se han modificado en los últimos años de tal manera que sin perder su eficiencia, resultan ser muy económicos.

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 hacer muy sencillas y ampliar progresivamente. (14).

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 un cierto rango, no analizar el agua utilizada para preparar la solución, etc.

SE NECESITA CONOCER Y MANEJAR LA ESPECIE QUE SE CULTIVO 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 ocasionan fracasos o pequeños rendimientos.

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 con esta última se necesita más agua que la disponible para mantener a un sistema hidropónico de las mismas dimensiones. (20).

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 ecológicos, económicos y sociales. Dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarla con éxito, bajo muy distintas condiciones [ecológi

cas, económicas y sociales) y para diversos usos.

Estas condiciones y usos se mencionan a continuación:

**PARA PRODUCIR ALIMENTOS EN ZONAS ÁRIDAS:** en estas regiones donde las fuentes de agua son limitantes, 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. Algunos autores consideran 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., para solucionar el problema de producción vegetal en las zonas áridas.

**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 de invernadero 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 empobrecen el suelo, dificultan el drenaje y el trabajo con maquinaria, favorecen el desarrollo de enfermedades., etc. (23)

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 escala los problemas mencionados. Esto lleva la ventaja adicional de que, debido a que 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 eficien-

temente. (29)

PARA PRODUCIR BAJO CONDICIONES DE CLIMA TEMPLADO Y FRÍO: en la mayoría de las regiones con climas templados y frío hay pocos cultivos susceptibles de explotarse económicamente. Generalmente en estos casos se opta por la importación o bien por la producción en invernaderos, 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 y mejor producto. (24)

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 de sales. En hidroponía, si se cuenta con un análisis químico de esa agua es posible hacer la solución nutritiva añadiendo sólo aquellas sales que hacen falta para balancearlas. Por ejemplo en una instalación comercial para producir crisantemos, ubicada en Alpuyeca, Morelos; se utiliza el agua de un río con alto contenido de sales de calcio y magnesio. Al preparar la solución nutritiva se tiene cuidado de no usar fertilizantes que tengan esos elementos en su composición. Hasta ahora (doce meses después) no se han presentado síntomas de deficiencias o exceso de estas sales, e inclusive hubo ahorro de fertilizante. (19).

PARA PRODUCIR EN AQUELLOS LUGARES EN DONDE NO ES POSIBLE LA AGRICULTURA NORMAL DEBIDO A LIMITANTES DE SUELO, TALES COMO: salinidad, ero-



sión, pedregosidad, rocosidad, arcilla, tepetate, con pendiente fuerte.

En general bajo estas condiciones, con la agricultura normal y aún contando con riego, los rendimientos son muy pobres. Con hidroponía no sólo es posible producir con altos rendimientos, sino que también contribuyen en mayor o menor grado al reestablecimiento del suelo, lo que es esencial desde el punto de vista ecológico y económico. (47)

PARA PRODUCIR EN LUGARES DONDE ES PELIGROSO EL CULTIVO TRADICIONAL. - DEBIDO A QUE EL SUELO ES FACILMENTE EROSIONABLE: en lugares con exceso de pendiente se puede cultivar por hidroponía 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 tinajas. Lo que significa un ahorro en la construcción de depósitos, bombas, etc. (24)

PARA PRODUCIR HORTALIZAS EN LAS CIUDADES: trabajando la hidroponía en pequeña escala, a niveles de huertos familiares, se considera que dado lo intensivo del sistema, se puede 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. A gran escala es 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 mejor calidad y más bajo costo. (9).

PARA PRODUCIR HORTALIZAS DONDE ELLAS SON CARAS Y ESCASAS EN UNA DETERMINADA LOCALIDAD: 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.

**PARA PRODUCIR FLORES Y PLANTAS ORNAMENTALES:** si esto se hace en localidades que presentan una o más de las limitantes anteriores mencionadas, se puede lograr, en zonas poco productivas, la generación de divisas para el País a través de la exportación de estos productos - produciéndose, desde luego también para el mercado nacional. (47).

**PARA PRODUCIR LAS PLANTAS MEDICINALES O LOS ACEITES ESENCIALES DE MAYOR DEMANDA:** muchas de estas plantas son difíciles de cultivar, por requerir condiciones climáticas y edáficas muy especiales; algunas de estas condiciones pueden ser proporcionadas con la hidroponia, - además de poder aumentar en muchos casos el rendimiento del producto activo.

**PARA LA PRODUCCION INTENSIVA DE FORRAJE:** en los últimos años se desarrollaron con éxito sistemas hidropónicos para producir intensamente forraje bajo condiciones controladas de tal manera que en cuartos de 9 m<sup>2</sup> ó 27m<sup>2</sup> 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.

**PARA PRODUCIR SEMILLA CERTIFICADA:** en hidroponia 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.

**PARA SEMILLEROS O ALMACIGOS:** la hidroponia puede ser de gran valor - en producción de esquejes o plántulas libres de enfermedades por ejemplo; jitomate, crisantemos, tabaco, lechuga, cebolla, chile, etc.

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 nutriente. En este sentido la hidroponía contribuiría a la determinación del verdadero efecto y dará a conocer claramente los síntomas de una deficiencia o exceso nutricional.

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 variedad 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 (cámara de ambiente controlado, invernadero con equipo especial) y haciendo variar aquél que en ese instante se estudia, 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.

PARA REALIZAR INVESTIGACIONES GENÉTICAS DELICADAS: si se parte nuevamente de que se puedan, 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 genéticas pueden investigarse por completo; existe, además, la posibilidad de estudiar con más precisión la fisiología del núcleo y el proceder del cromosoma. [3].

CÓMO 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.

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 horticolas que implica el cultivo en suelo (barbechos, surcados, deshierbes, fertilizaciones, riego, etc.), serán sujetos productivos, al trabajar en un sistema hidropónico. (9)

COMO UNA FUENTE MAS DE OCUPACION DE MANO DE OERA NO CALIFICADA: ya se planteó esta posibilidad como una ventaja de la hidroponia, 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 hidroponia - al ser más intensiva - tiende a concentrarlos en el campo y a proporcionarles trabajo bien remunerado durante todo el año.

PARA CONTRIBUIR EN LA SOLUCION DEL PROBLEMA DE LA CONSERVACION DE RECURSOS Y DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL: normalmente los sistemas de producción intensivos en el suelo, en lugares inadecuados, dan lugar a serios problemas de erosión y contaminación. La hidroponia, 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 el ambiente. Con todos los aspectos aquí mencionados, no se quiere dar a entender que la hidroponia es una panacea que puede sustituir a la agricultura tradicional; simplemente son evidencias sobre sus ventajas para aquellas si-

tuaciones en donde la agricultura normal es difícil o imposible. En este sentido la hidroponía no viene a sustituir a la agricultura si no a complementarla. [36]

En la actualidad se considera a la hidroponía como una gran rama es tablecida en pleno crecimiento de la agronomía, y sobre la cual se realizan numerosas investigaciones tendiente, por un lado a reducir costos de operación y producción, a buscar sistemas más accesibles para el profano, a diseñar aparatos y equipos que tiendan a aumen tar el rendimiento; y por otro, a enriquecer el avance científico y tecnológico, propio de los campos de la fisiología, ecología y gené tica vegetal.

## NUTRICION DE LA PLANTA

### Constituyentes de la planta:

La composición de materia de una planta joven es al rededor de 80 a 95% de agua. El porcentaje exacto de agua dependerá de la especie de la planta y de la turgencia de la misma al momento de tomar la muestra, el cual resultará en un tiempo determinado durante el día, la cantidad disponible del suelo, la temperatura, la velocidad del viento y otros factores. A pesar de la variabilidad en peso fresco de el análisis químico de la materia de la planta, son basados usualmente en la materia seca más estable. El material de la planta recién cortada es secada a 70°C de 24 a 48 horas. La materia seca restante será aproximadamente de 10 a 20% del peso fresco inicial. Sobre 90% de el peso seco de la mayoría de la materia de la planta está formado por tres elementos: carbono, oxígeno e hidrógeno. El agua provee de hidrógeno y oxígeno y el oxígeno también viene del dióxido de carbono de la atmósfera como lo hace el carbono.

Si sólo el 15% del peso fresco de una planta es materia seca y el 90% de esto es representado por carbono, oxígeno e hidrógeno; entonces todos los elementos restantes en la planta corresponden al 1.5% de el peso fresco de la planta ( $0.15 \times 0.10 = 0.015$ ). [41]

### Minerales y Elementos Esenciales:

Mientras un total de 92 elementos minerales naturales son conocidos, sólo 60 elementos han sido encontrados en varias plantas. Aunque muchos de estos elementos no son considerados esenciales para el crecimiento de la planta, la raíz de la planta probablemente absorbe en alguna medida, de la solución del suelo circulante a esta; cualquier elemento existente en una forma soluble.

Sin embargo, las plantas tienen alguna habilidad de seleccionar la proporción en la que absorber varios iones. Tal absorción usualmente no es directamente proporcional a la disponibilidad de los nutrientes. Ade

más diferentes especies varían en su habilidad de selección de partículas de iones.

Un elemento debe satisfacer cada uno de los tres criterios siendo considerados esenciales para el crecimiento de las plantas. Arnon y Stout 1939; Arnon 1950. (56).

1.- La planta no puede completar su ciclo de vida en la ausencia de - el elemento.

2.- La acción de el elemento debe ser específica, otro elemento no puede de totalmente sustituirlo.

3.- El elemento debe estar directamente involucrado e incluido en la - nutrición de la planta, esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, al menos, requerido para la acción de una enzima esencial - y no simplemente causante de otro elemento para ser más fácilmente disponible o contrariar un efecto tóxico de otro elemento.

Sólo 16 elementos son generalmente considerados esenciales para el crecimiento de plantas superiores. Son arbitrariamente divididos en los - macronutrientes (macroelementos) a aquellos que son requeridos en grandes cantidades relativamente y los micronutrientes (rastros o elementos menores), necesitados en cantidades considerablemente menores.

Los macroelementos incluyen; carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Los micronutrientes incluyen: el hierro, cloro, magnesio, boro, zinc, cobre y molibdeno. Aunque las plantas superiores deben requerir sólo esos 16 elementos esenciales, ciertas especies pueden necesitar otros. Ellas pueden, a veces, acumular esos otros elementos igual si no son esenciales a su crecimiento normal.

Silicio, aluminio, cobalto, vanadio y selenio son de esos elementos poco absorbidos por las plantas y usados en su crecimiento.

Todos ellos forman parte de algún papel en la manufactura y descomposición de varios metabolitos requeridos para el crecimiento de la planta.

Muchos son encontrados en enzimas y coenzimas las cuales regulan la proporción de reacciones bioquímicas. Otras son importantes en componentes

acarreadores de energía y almacenadores de alimento. (36)

Las funciones de los elementos esenciales son resumidos a continuación:

1.- Nitrógeno

Parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.

2.- Fósforo.

Parte de muchos compuestos orgánicos importantes incluyendo azúcar, fosfatos, ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y cientos coenzimas.

3.- Potasio.

Actúa como coenzima o activador de muchas enzimas (ejemplo, piruvato - quinasa). Síntesis de proteínas que requieren altos niveles de potasio. El potasio no forma parte de la estructura estable de ninguna molécula interna de las células de la planta.

4.- Azufre.

Incluido en varios compuestos orgánicos. Además aminoácidos y proteínas. Coenzima A y las vitaminas tiamina y biotina que contienen azufre.

5.- Magnesio.

Una parte esencial de la molécula de clorofila y requerida para la activación de muchas enzimas incluyendo dos etapas como la unión y descomposición del ATP esenciales para mantener la estructura del ribosoma.

6.- Calcio.

Frecuentes precipitados como cristales de oxalato de calcio en vacuolas. Encontrado en las paredes de la célula como pectato de calcio que juntos se adhieren a las paredes primaria de la célula adyacente. Exige mantener íntegramente la membrana y es parte de la enzima amilasa. Algunas veces interfiere con la habilidad del magnesio para activar las enzimas.



7.- Hierro.

Requerido para la síntesis clorofílica y es una parte esencial de los citocromos que actúan como acarreadores de electrón en la fotosíntesis y respiración. Es una parte esencial de la ferredoxina y posiblemente de nitrato reductasa, así mismo activa otras determinadas enzimas:

8.- Cloro.

Necesario para fotosíntesis donde actúa como una enzima activadora durante la producción de oxígeno del agua. Funciones adicionales son indicadas por efectos de deficiencia en raíces.

9.- Manganeso.

Activa una o más enzimas en síntesis de ácidos grasos, la enzima responsable de la formación de DNA y RNA y la enzima isocitrato deshidrogenasa en el ciclo de Krebs. Directamente participa en la fotosíntesis en la producción de oxígeno del agua y quizá implicado en la formación de clorofila.

10.- Boro.

Su papel en las plantas no se entiende muy bien.

11.- Zinc

Necesaria para la formación de la hormona ácido-indolacética. Activa - las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa, y carboxipeptidasa

12.- Cobre.

Actúa como un acarreador de electrones y como parte de ciertas enzimas. Parte de plastocianina que está implicada en la fotosíntesis, también - del polifenol oxidasa y posiblemente nitrato reductasa. Quizá intervenga en la fijación del nitrógeno.

13.- Molibdeno.

Actúa como acarreador de electrones en la conversión del nitrato a amonio y es también esencial en la fijación del nitrógeno.

14.- Carbono.

Constituyendo de todos los compuestos orgánicos encontrados en la planta.

15.- Hidrógeno.

Constituyente de todos los compuestos orgánicos del cuál el carbono es un constituyentes. Importante en el cambio catiónico en la relación planta-suelo.

16.- Oxígeno.

Constituyente de muchos compuestos orgánicos en la planta. Sólo unos pocos compuestos orgánicos, tales como el caroteno no contienen oxígeno. Involucrado también en el cambio de aniones entre raíces y el medio externo. Es un aceptor terminal de  $H^+$  en respiración aeróbica. (30, 31 y 46).

Absorción del agua y minerales de las plantas.

Las plantas normalmente obtienen sus minerales esenciales y agua necesarios de el suelo. En un medio sin suelo, las plantas también deben ser provistas con agua y minerales. Por lo tanto, para entender las relaciones de la planta en un sistema hidropónico debemos entender la relación-suelo-planta bajo el cuál ellas crecen normalmente.

El Suelo.

El suelo provee cuatro necesidades a la planta: 1.- Un abastecedor de agua 2.- Un proveedor de nutrientes esenciales 3.- Un proveedor de oxígeno y 4.- Un sosten para el sistema de raíces de la planta. El suelo mineral contiene cuatro componentes principales: elementos minerales, materia orgánica, agua y aire. Por ejemplo, una composición de volumen de suelo representativo de tierra de buena calidad compuesta de barro, arena y material de plantas en descomposición en condiciones óptimas para crecimiento de plantas puede contener ; 25% de espacio de agua, 25% de espacio

de aire, 45% de materia mineral y 5% de materia orgánica. La materia mineral (inorgánica) está compuesta de pequeños fragmentos de roca y de minerales de varias especies. La materia orgánica representa una acumulación de plantas en descomposición y residuos animales. La materia orgánica del suelo consiste de dos grupos generales 1.- tejido original y sus equivalentes parcialmente descompuestos; y 2.- humos.- El tejido original incluye plantas no-descompuestas y materia animal que está sujeta a ataques por organismos del suelo, plantas y animales, que usan como una fuente de energía y como material de construcción de tejidos. Los humos es el material más resistente de descomposición, igualmente es sintetizado por los microorganismos y es modificado para el tejido original de la planta.

El agua del suelo es tomada de los poros del suelo y junto con sus sales disueltas compone la solución del suelo que es tan importante como un medio para proveer de nutrientes a las plantas en crecimiento. El aire de el suelo localizado en los poros del suelo tiene un alto contenido de dióxido de carbono y más bajo contenido oxígeno que el de la atmósfera. [46]

El aire del suelo es importante como proveedor de oxígeno y CO<sub>2</sub> a todos los organismos del suelo y a las raíces de la planta. La habilidad del suelo para proveer una nutrición adecuada a la planta depende de cuatro factores; 1.- La cantidad de varios elementos esenciales presentes en el suelo 2.- Sus formas de combinación 3.- El proceso por el cual esos elementos se convierten en disponibles para las plantas y 4.- La solución del suelo y su pH. Las cantidades de los diferentes elementos presentes en el suelo dependerá de la naturaleza de el suelo y en el contenido de su materia orgánica pues es una fuente de varios elementos nutritivos. Los nutrientes del suelo existen igualmente como complejo, compuestos insolubles y como simples formas usualmente solubles en el agua del suelo y rápidamente disponibles para las plantas.

Las formas complejas deben ser rotas y destruidas mediante la descomposición de las formas más disponibles y sencillas para beneficio de la planta.

La reacción de la solución del suelo (pH) determinará la disponibilidad de varios elementos para la planta. El valor de pH es una medida de acidez o alcalinidad. Un suelo es ácido si el pH es menos de 7, neutral si-

nes 7 y alcalino si el pH es arriba de 7. La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH entre 6 y 7 para la óptima absorción de nutrientes. Hierro, manganeso y zinc se vuelven menos disponibles a medida que el pH es subido de 6.5 a 7.5 ó 8.0.

La disponibilidad del molibdeno y boro por otro lado, es afectada en una forma opuesta siendo más grande a más alto nivel de pH. A valores más altos de pH el ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) quizá se presente en cantidades suficientes que interfirieran con la absorción normal de otros iones y así es perjudicial para el crecimiento óptimo.

Cuando las sales inorgánicas son localizadas en una solución diluida ellas se disocian en unidades cargadas eléctricamente llamadas iones. Son disponibles para las plantas desde la superficie de los coloides del suelo y de sales en la solución del suelo. La positividad del ión cargado (cationes) tal como potasio ( $\text{K}^+$ ) y calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) son en su mayor parte absorbidos por los coloides del suelo, ya que la negatividad de la carga de los iones (aniones) tal como cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{--}$ ) son encontrados en la solución del suelo.

Como se mencionó antes, el desarrollo hidropónico a través de estudios de los componentes de la planta llevaron al descubrimiento de elementos esenciales de la misma; donde la nutrición de ésta es por lo tanto, la base de la hidroponía.

Cualquier propuesta al futuro para aplicar técnicas hidropónicas debe de haber un conocimiento completo de la nutrición de la planta. La administración de la nutrición de la planta a través del suministro de la solución nutriente es la llave del éxito del crecimiento en hidroponía.

La absorción y el transporte de los nutrientes de la planta es esencial para el desarrollo de la misma.

La siguiente cuestión es como mantener a la planta en nivel óptimo de nutrición.

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 el punto 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 textura, etc.).

Explicando lo anterior, en hidroponía se trata de proporcionar a la planta un sustrato o suelo 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, irrigación, etc.).

Cualquier método de cultivo hidropónico consta de los componentes que a continuación se mencionan: solución nutritiva, sustrato, recipientes (tinajas, camas o macetas), sistema de riego y drenaje.

#### Solución nutritiva.

En hidroponía todos los elementos esenciales (ya sea micronutrientes o macronutrientes) son suministrados a las plantas por sales fertilizantes disueltas en agua formando así la solución nutritiva. La elección de sales a usarse depende de un número diverso de factores. La proporción relativa de iones en un compuesto al cual se le suministran, deberá ser comparada en base a este requisito en la formulación nutriente. Por ejemplo; una molécula de nitrato de potasio  $KNO_3$  produce un ión de potasio  $K^+$  y uno de nitrato  $NO_3^-$ , ya que una molécula de nitrato de calcio  $Ca(NO_3)_2$  producirá un ión de calcio  $Ca^{++}$  y dos iones de nitrato  $2NO_3^-$ . Por lo tanto si un número mínimo de cationes es requerido mientras se suministra suficiente nitrato (aniones) entonces el nitrato de

calcio será usado. Así, tanto la mitad de nitrato de calcio como el nitrato de potasio serían requeridos para satisfacer las necesidades de el anión nitrato. (41)

Las sales fertilizantes son varias, las cuales pueden ser usadas para la preparación de la solución nutriente. Estas sales tienen diferente solubilidad. La solubilidad es una medida de la concentración de la sal, la cual permanecerá y formará parte de la solución cuando esté disuelta en agua. Si una sal tiene baja solubilidad, sólo una pequeña cantidad de esta se disolverá en agua. En hidroponia, las sales fertilizantes que tienen alta solubilidad deben ser usadas con mayor frecuencia para aprovecharse mejor por las plantas. Por ejemplo, el calcio puede ser suministrado por cualquiera de las dos: nitrato de calcio o sulfato de calcio. El sulfato de calcio es barato pero su solubilidad es muy baja. Por eso, el nitrato de calcio sería usado para proveer el requerimiento total de calcio.

El costo de un fertilizante particularmente debe ser considerado en proporción a su uso. En general en un invernadero sería usado el más barato. El costo es grande para un grado reactivo, pero la pureza y solubilidad serán mejores. Un fertilizante barato contendrá una gran cantidad de acarreadores inertes (arcilla o barro, partículas de lodo) que forman un fango, que puede obstruir las líneas de alimentación por donde pasarían los nutrientes. (46)

Fuentes de sales nutrientes.

Los elementos requeridos por las plantas son disponibles en un número variado de preparaciones comerciales. Cualquiera de estas son aceptables, pero la cantidad de el elemento presente variará de preparación (39).

| ELEMENTO  | FUENTE   |
|-----------|--|
| Nitrógeno | <p>Nitrato de Potasio. Fuente de ambos potasio y nitrógeno. Muy soluble es una fuente excelente de nitrógeno, pero en México es difícil de conseguirlo en pequeñas cantidades.</p> <p>Nitrato de Sodio. Fuente sólo de nitrógeno, pero el sodio que entra en la solución incrementará el contenido de sales de sodio, sin contribuir a la alimentación vegetal.</p> <p>Nitrato de Calcio. Es una fuente de nitrógeno y calcio.</p> <p>Es muy higroscópico, lo que lo hace no muy fácil de almacenar. En México sólo puede conseguirse como reactivo analítico, lo cual lo hace imposible de usar a escala comercial.</p> <p>Nitrato de Amonio. Contiene iones tanto de nitrato como de amonio, como la proporción de este último es elevada, no se recomienda su uso como fuente exclusiva de nitrógeno. En México es muy fácil de conseguir y además a bajo precio. En Alpujeca, Méx. se ha usado como única fuente de nitrógeno para varias especies de cultivo y los resultados han sido satisfactorios.</p> <p>Sulfato de Amonio. - Proporciona la cantidad necesaria de amonio en la solución. Contribuye a acidificar la solución y proporciona también parte del azufre necesario.</p> <p>Es muy barato y fácil de conseguir en México.</p> |

| ELEMENTO | FUENTE   |
|----------|--|
| Potasio  | <p>Nitrato de Potasio. - Como ya se mencionó <u>ade</u><br/> <u>más de proporcionar el potasio necesario es-</u><br/> <u>fuerza también de una buena parte de nitróge</u><br/> <u>no.</u></p> <p>Sulfato de Potasio. - Proporciona también <u>azu</u><br/> <u>fre. Es muy barato y fácil de conseguir en-</u><br/> <u>México a comparación de el anterior.</u></p> <p>Cloruro de Potasio. - Se puede usar cuando el<br/> sulfato de potasio no es fácilmente <u>consegui</u><br/> do, pero hay que tener mucho cuidado ya que<br/> eleva el contenido de cloro en la solución -<br/> pudiendo ocasionar toxicidad en las plantas.</p>  |
| Fósforo  | <p>La forma en que el fósforo es asimilable por<br/> las plantas es como ión fosfato PO<sub>4</sub>. Dentro -<br/> de las principales fuentes de fosfato solubles<br/> hay:</p> <p>Superfosfato de Calcio simple. - Es de las <u>fuen</u><br/> <u>tes más usadas de fósforo, ya que además de ser</u><br/> <u>barato y fácil de conseguir contiene calcio, -</u><br/> <u>azufre y varios microelementos como impurezas.</u><br/> <u>Es difícil de disolver.</u></p> <p>Superfosfato de Calcio Triple. - Contiene menos<br/> calcio e impurezas pero más fósforo que el su-<br/> perfosfato simple, su precio es un poco más -<br/> elevado y también es difícil de disolver.</p> <p>Fosfato de amonio y fósforo diamónico. - Son más<br/> fáciles de disolver que los anteriores, propor-<br/> ciona también nitrógeno amoniacal.</p> <p>Acido fosfórico. - Se utiliza con relativa fre-<br/> cuencia, en forma de solución débil, añadiendo<br/> a su vez una pequeña cantidad de hidróxido de-</p> |



| ELEMENTO | FUENTE  |
|----------|---|
|          | <p>solio para corregir la excesiva acidez. - Normalmente es una fuente suplementaria - de fósforo se utiliza para regular el pH, en vez del <math>H_2SO_4</math></p>  |
| Magnesio | <p>Sulfato de Magnesio. - (Sal de Epsom). - Barato, se disuelve fácilmente en agua y fácilmente se consigue, hasta en las farmacias. Este fertilizante es el que se usa casi exclusivamente como fuente de magnesio en hidroponía.</p> <p>Nitrato de Magnesio. - También puede usarse pero es más caro.</p>   |
| Calcio   | <p>Nitrato de Calcio. - Muy soluble, pero no se consigue en México como fertilizante-comercial.</p> <p>Superfosfato (simple y triple). - Proporciona una buena cantidad de calcio necesario, pero es difícil de diluir.</p> <p>Sulfato de Calcio (Veso). - Aunque es difícil de diluir, es barato y fácil de conseguir.</p> <p>Cloruro de Calcio. - No es recomendable - más que como fuente suplementaria ya que eleva el contenido de cloro en la solución.</p> |

| ELEMENTO  | FUENTE   |
|-----------|--|
| Fierro    | <p>Sulfato Ferroso.- Para disolverlo bien el pH de la solución deberá ser menor de 6.0 Es la fuente más barata de fierro.</p> <p>Cloruro Férrico.- Es más caro y difícil - de conseguir que el anterior.</p> <p>Quelatos.- Proporcionan fierro asimilable por períodos de tiempos mas largos que el sulfato ferroso y previenen la precipitación del fósforo. Su precio es elevado.</p> <p>Otras fuentes de fierro son las sales orgánicas solubles como el citrato ferroso pero éste sólo se disuelve en agua caliente. Se prefiere este a otras fuentes, - ya que permanece un tiempo mas largo en soluciones y también es mas estable en - pH alto que otras sales.</p> |
| Manganeso | <p>Sulfato de Manganeso.- Es más comunmente usado como fuente de manganeso.</p> <p>Cloruro o Quelato de Manganeso.- Es menos común la sal, pero también puede ser usada.</p>   |
| Boro      | <p>Acido Bórico.- Es la mejor fuente de Boro</p> <p>Bórax.- También puede ser usado en una - emergencia.</p>   |

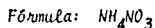
| ELEMENTO  | FUENTE   |
|-----------|--|
| Azufre    | <p>Normalmente el azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfatos <math>SO_4</math> como las plantas tienen límite de tolerancia muy amplio para el azufre, éste casi nunca se contabiliza al hacer la solución nutritiva, pues se considera, que siempre queda dentro de los límites adecuados. - Sus principales fuentes son:</p> <p>Sulfato de Amonio, Sulfato de Potasio, Superfosfato, Sulfato de Magnesio (Sal de Epson), Sulfato de Calcio (Veso).</p> |
| Cobre     | Sulfato y cloruro de cobre. - Son sus principales fuentes.   |
| Zinc      | Sulfato o cloruro de Zinc. - Se aporta a la solución.  |
| MoLibdeno | Este elemento es requerido en tan pequeña cantidad, que se encuentra como impureza en otros fertilizantes y por lo tanto, no requiere de ninguna fuente adicional.   |

La concentración de cada uno de los elementos en la solución se puede expresar de varias maneras, pero son tres las que más se usan en hi -

droponía. [33,36 y 41].

**SOLUCIÓN MOLAR.** - Es la que resulta de disolver el peso molecular, expresado en gramos (mol) de una sustancia en agua hasta completar un litro de solución. El peso molecular, se obtiene sumando los pesos atómicos de cada uno de los átomos que intervienen en una molécula de sustancia involucrada.

Por ejemplo, para preparar una solución molar de nitrato de amonio se procede a hacer los cálculos como sigue:



Suma de pesos atómicos:

Nitrógeno (2 átomos) =  $14 \times 2 = 28$

Oxígeno (3 átomos) =  $16 \times 3 = 48$

Hidrógeno (4 átomos) =  $1 \times 4 = 4$

80

El peso molecular es 80, por tanto una solución molar de nitrato de amonio será aquella que contenga 80 gramos de esta sal, disueltos en un litro de solución. En hidroponía las concentraciones generalmente no son tan fuertes y se expresan así siempre en milimoles (mM). [2]

**SOLUCIÓN NORMAL.** - Se obtiene disolviendo el peso equivalente de una sustancia en agua hasta completar un litro de solución. El peso equivalente se calcula dividiendo el peso molecular de la sustancia entre la valencia de su catión. Por ejemplo, si se quiere hacer una solución normal de nitrato de calcio, los cálculos pueden hacerse como sigue:



Calcio: (1 átomo)  $40 \times 1 = 40$

Nitrógeno: (2 átomos)  $14 \times 2 = 28$

Oxígeno: (6 átomos)  $16 \times 6 = 96$

Peso molecular 164

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{Valencia del catión}}$$

$$\text{Peso equivalente} = \frac{164}{2 \text{ (Valencias del calcio)}}$$

$$\text{Peso equivalente} = 82$$

O sea que para hacer una solución normal de nitrato de calcio se re quiere disolver 82 gramos de esta sustancia en agua hasta formar un litro de solución.

En hidroponía las concentraciones son, por regla general mucho más débiles y se expresan en miliequivalentes (me) que representan la milésima parte del peso equivalente.

PARTES POR MILLÓN (ppm). - Si un gramo de una sustancia se disuelve en un millón de granos de agua (1000 litros), se obtiene una solución de una parte por millón de dicha sustancia. Términos equivalentes son, granos por mil litros y miligramos por litro; así, si se disuelven 100 gramos de nitrato de potasio en 1000 litros de agua resulta una solución de 100 ppm de nitrato de potasio. En hidroponía generalmente se expresan los elementos radicales disueltos en la solución en partes por millón.

Este método está directamente relacionado con el de la molaridad, está dado en unidades métricas y es por consecuencia el más fácil de calcular. Este método es mucho más fácil de entender y, por lo tanto, el que con frecuencia se utiliza en la bibliografía para expresar la concentración y las proporciones de las diferentes elementos nutritivos en las soluciones usadas en hidroponía.

Después de muchas investigaciones se ha establecido que, al menos en teoría, no existe una solución ideal para una especie en particular y que la concentración óptima de cada elemento para un cultivo específico depende de un conjunto de factores (ambientales, genéticos, morfológicos, etc.) Esta situación ha dado lugar a que la literatura reporte cientos de fórmulas nutritivas diferentes, cada una de las cuales sirve para uno o varios cultivos y para una o más condiciones diferentes de medio. (37).

Aunque no se debe olvidar que las concentraciones de los elementos - en la solución nutritiva cambian en función de muchos factores tales como, la estación del año, la edad y el tipo de planta, la parte de la planta que se recolecta y la luminosidad, se considera que, en términos generales, existe una concentración mínima, una óptima y una máxima de cada uno de los elementos esenciales, para asegurar el crecimiento satisfactorio de cualquier vegetal.

Estas concentraciones se expresan en los cuadros siguientes. (2)

| RANGOS MÍNIMO, ÓPTIMO Y MÁXIMO DE LOS ELEMENTOS E IONES PRESENTES EN LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS SEGUN SCHWARZ (49) |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|
| <u>Elemento radical</u>   | <u>Mínimo</u> | <u>Óptimo</u> | <u>Máximo</u> |
| Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )   | 200           | 300-900       | 1000          |
| Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )  | -             | 0-40          | 100           |
| Fósforo (P)   | 30            | 30-90         | 100           |
| Potasio ( $\text{K}^+$ )  | 150           | 200-400       | 600           |
| Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ )   | 100           | 150-400       | 600           |
| Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ )   | 25            | 25-75         | 150           |
| Sulfato ( $\text{SO}_4^{+2}$ )  | 150           | 200-1000      | 1000          |
| Cloro (Cl)  | 30            | 350           | 600           |
| Sodio ( $\text{Na}^+$ )   | -             | -             | 400           |
| Hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ )   | -             | 0.5-2         | -             |
| Ácido Bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )  | -             | 0.2-1         | 5             |
| Zinc ( $\text{Zn}^{+2}$ )   | -             | 0.2-2         | 20            |
| Cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ )  | -             | 0.1-2         | 5             |
| Manganeso ( $\text{Mn}^{+2}$ )  | -             | 1-5           | 15            |
| Cobalto ( $\text{Co}^{+2}$ )  |               |               |               |
| Fluor (F)   |               |               |               |
| MoLibdeno ( $\text{Mo}^{+1}$ )  |               |               |               |

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

RANGOS MINIMO, OPTIMO Y MAXIMO DE ELEMENTOS PRESENTES EN SOLUCIONES HIDROPONICAS SEGUN DOUGLAS (12)

| <u>Elemento</u> | <u>Mínimo</u> | <u>Óptimo</u> | <u>Máximo</u> |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| 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             |
| Hierro          | 2             | 5             | 10            |
| Manganeso       | 0.5           | 2             | 5             |
| Molibdeno       | 0.001         | 0.001         | 0.00.2        |
| Zinc            | 0.5           | 0.5           | 1             |

Basándose en los datos de los cuadros anteriores puede obtenerse un gran número de soluciones nutritivas diferentes. Después de esto, sólo falta saber qué cantidades de fertilizantes se requieren para preparar una solución dadas las concentraciones de cada elemento. Para calcularlo se puede proceder como en el siguiente ejemplo:

Se requiere calcular la cantidad de cada fertilizante para preparar 200 - litros de solución nutritiva de acuerdo a las concentraciones siguientes: Si se utiliza como fuente de nitrógeno el nitrato de potasio se puede calcular como sigue:

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

- 1.- Se escribe la fórmula. En este caso  $\text{KNO}_3$
- 2.- Se obtiene su peso molecular = 101 (ver cuadro "A")
- 3.- En el caso de que el fertilizante aporte dos nutrimentos diferentes, el cálculo se hace sobre el elemento que primero limite la cantidad de fertilizante. Generalmente es el elemento que más ppm aporta por gramo de fertilizante. En este caso particular el elemento que primero limita la cantidad de  $\text{KNO}_3$  es el potasio que tiene un peso atómico de 39 contra 14 del nitrógeno, o sea que en cada 101 - gramos de  $\text{KNO}_3$  disueltos en 100 litros de agua se están aportando 39 ppm de potasio y 14 de nitrógeno, o sea que en cada 101 gramos de  $\text{KNO}_3$  disueltos en 1000 litros de agua se están aportando 39 ppm de potasio y 14 de nitrógeno, es decir la relación N:K es de 11:1.8 por esta razón se calcula primero el potasio en vez del nitrógeno.
- 4.- Se determina qué porcentaje del elemento a calcular existe en relación al peso molecular del fertilizante.

$$\% \text{ del elemento} = \frac{\text{Peso atómico}}{\text{Peso Molecular}} (100)$$

$$\% \text{ de K} = \frac{39}{101} (100)$$

$$\% \text{ de K} = 38.6$$

- 5.- De este porcentaje, por medio de una proporción, se calcula la cantidad de fertilizante requerido para dar la concentración dada del elemento. En este caso se busca la cantidad de  $\text{KNO}_3$  necesaria para hacer una solución de 300 ppm de potasio en 200 litros de agua.

$$\text{Concentración del fertilizante} = \frac{\text{Concentración deseada del elemento}}{\text{Porcentaje del elemento}}$$

$$= (100)$$

$$\text{Concentración de } \text{KNO}_3 = \frac{300}{38.6} (100)$$



Concentración de  $KNO_3 = 777$  ppm

777 ppm equivalen a una cantidad de 777 gramos en 1000 litros de agua, - por tanto para 200 litros será:

$$X = \frac{(777) (200)}{1000} = 155 \text{ gramos}$$

Es decir, se necesitan 155 gramos de  $KNO_3$  para proporcionar las 300 ppm de potasio en 200 litros de agua.

6.- Si el fertilizante incluye otro elemento esencial para la nutrición vegetal, se calcula la cantidad ya añadida de dicho elemento. En el ejemplo el  $KNO_3$  además de proporcionar las 300 ppm de potasio, proporciona una

Cantidad importante de nitrógeno que es necesario contabilizar. Este cálculo se realiza mediante una sencilla proporción de acuerdo a la relación.

N:K que es de 1:2.8, por lo tanto:

$$1:2.8: X: 300$$

$$X = \frac{300}{2.8} = 107 \text{ ppm}$$

Es decir, que 155 gramos de  $KNO_3$ , disueltos en 200 litros de agua, además de proporcionar 300 ppm de potasio, suministran 107 ppm de nitrógeno.

Como la concentración deseada de nitrógeno en el ejemplo es de 200 ppm, faltaría por suministrarse la diferencia entre 200 ppm requeridas y 107 ppm ya aportadas, es decir, 93 ppm. Por ello se tiene que recurrir, como una fuente adicional, a otro fertilizante nitrogenado. Una vez escogida esta fuente procede como en el caso anterior. Supongase que la fuente es nitrato de amonion:

1.- Fórmula:  $NH_4 NO_3$

2.- Peso molecular: 80

3.- Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso sólo existe nitrógeno, es decir, no existe otro elemento a calcular en la

solución.

4.- Porcentaje del elemento en relación al peso molecular.

$$\% \text{ de N} = \frac{28}{80} (100) = 35$$

Como la molécula de nitrato de amonio posee dos átomos de nitrógeno se tomó como numerador a la suma de los pesos atómicos de esos dos átomos  $(14 + 14) = 28$ .

5.- Cantidad de fertilizante requerido

$$\text{Concentración de } \text{NH}_4 \text{ NO}_3 = \frac{93}{35} (100) = 266 \text{ ppm}$$

O sea, se requieren disolver 266 gramos de  $\text{NH}_4 \text{ NO}_3$  en 1000 litros de agua para obtener 93 ppm de nitrógeno. Como en el ejemplo se necesitan 200 litros de solución entonces:

$$266 : 1000 : X : 200$$

$$X = \frac{(266) (200)}{1000} = 53 \text{ gramos}$$

Es decir, basta añadir 53 gramos de  $\text{NH}_4 \text{ NO}_3$  a los 200 litros de la solución que se está elaborando para obtener las 93 ppm de nitrógeno faltantes.

6.- Dado que este fertilizante no aporta otro elemento no se realiza este paso. Hasta aquí se han calculado el nitrógeno y el potasio. El siguiente elemento a calcular será el fósforo, cuya fuente podría ser por ejemplo, el superfosfato simple. Procediendo de igual manera se tiene.

1.- Fórmula:  $\text{Ca} (\text{H}_2 \text{ PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (esta fórmula no incluye el sulfato de calcio y demás material usado como inerte por lo que el peso molecular no concuerda).

CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE ELEMENTOS ESENCIALES PARA ELABORAR SOLUCIONES NUTRITIVAS PARA CULTIVOS HIDROPONICOS. (52)

| Fuente                             | Fórmula                    | Peso Molecular                  | Contenido de elementos nutritivos (%) (Considerando impurezas) | Relaciones     |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|----------------|
| Nitrato de Potasio                 | $KNO_3$                    | 101                             | 36 (K) - 13 (N)  | K:N-2.8:1      |
| Nitrato de Calcio                  | $Ca(NO_3)_2$               | 164                             | 23.5 (Ca)<br>16.5 (N)  | Ca:N<br>1.42:1 |
| Nitrato de Sodio                   | $NaNO_3$                   | 85                              | 15.5 (N)   |                |
| Nitrato de Amonio                  | $NH_4NO_3$                 | 80                              | 33 (N)   |                |
| Sulfato de Amonio                  | $(NH_4)_2SO_4$             | 132                             | 20.5 (N)   |                |
| Fosfato monoamónico                | $NH_4H_2PO_4$              | 115                             | 27 (P)-11 (N)  | P:N-2.45:1     |
| Fosfato diamónico                  | $(NH_4)_2HPO_4$            | 132                             | 23.5 (P)<br>18 (N)   | P:N-1.3:1      |
| Superfosfato simple                | $CaH_4-(PO_4)_2$<br>$H_2O$ | 750<br>(Aunque es muy variable) | 26.6 (Ca)<br>7 (P)   | Ca:P-3.8:1     |
| Superfosfato triple                | $CaH_4(PO_4)_2$<br>$H_2O$  | 310<br>(también variable)       | 18.6 (P)<br>13.6 (Ca)  | P:Ca<br>1.37:1 |
| Sulfato de Potasio                 | $K_2SO_4$                  | 174                             | 44.8 (K)   |                |
| Cloruro de Potasio                 | KCl                        | 75                              | 52 (K)   |                |
| Sulfato de Calcio (yeso)           | $CaSO_4$<br>$2H_2O$        | 172                             | 23 (Ca)  |                |
| Sulfato de Magnesio (Sal de Epsom) | $MgSO_4$<br>$7H_2O$        | 246.5                           | 10 (Mg)  |                |
| Sulfato ferroso                    | $FeSO_4$<br>$7H_2O$        | 278                             | 20 (Fe)  |                |
| Sulfato de Manganeso               | $MnSO_4$                   | 223                             | 25 (Mn)  |                |

- 2.- Peso molecular 750 (aproximadamente, ya que es variable).
- 3.- Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso es el fósforo, ya que aunque la relación P:Ca es de 1:3.8, en el ejemplo sólo se requieren 60 ppm de fósforo contra las 300 ppm de Ca.
- 4.- Porcentaje del elemento en relación al peso molecular. 7% de fósforo
- 5.- Cantidad de fertilizante requerido.

$$\text{Concentración del superfosfato} = \frac{60}{7\%} (100) = 857 \text{ ppm}$$

Es decir se requieren 857 gramos de superfosfato simple en 1000 litros de agua para hacer una solución de 60 ppm de fósforo. Como la solución que se está elaborando tiene un volumen de 200 litros, en - tonces:

$$X = \frac{(857) (200)}{1000} = 171.4 \text{ gramos}$$

Por lo tanto se requieren 171.4 gramos de superfosfato de calcio simple en la solución de 200 litros para aportar 60 ppm de fósforo.

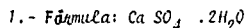
- 6.- Cálculo para el otro elemento aportado por el fertilizante. En este caso se debe calcular cuánto calcio se suministró a la solución al - añadir a la misma las 60 ppm de fósforo. Como la relación P:Ca es de 1.3.8 se tiene:

$$1:3.8 : : 60:X$$

$$X = (3.8) (60) = 228 \text{ ppm.}$$

O sea, que 171.4 gramos de superfosfato simple aportan las 60 ppm de fósforo y además 228 ppm del calcio requerido.

Dado que se requieren 300 ppm de calcio es necesario suministrar otras 72 ppm de alguno otra fuente, por ejemplo el sulfato de calcio (Veso).



2.- Peso molecular: 172

- 3.- Elemento que limita la cantidad de fertilizante. En este caso, como ya se mencionó el azufre no se calcula, por lo que sólo se toma en cuenta el calcio.

4.- Porcentaje del elemento en relación al peso molecular: % Ca-23 %

5.- Cantidad de fertilizante requerido.

$$\text{Concentración de CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{72}{23} (100) = 313 \text{ ppm.}$$

O sea, 313 gramos de sulfato de calcio en 1000 litros de agua pro  
porcionar 72 ppm de calcio. Para obtener la misma concentración  
en los 200 litros de solución se tienen que:

$$313: 1000: X: 200$$

$$X = \frac{(313) (200)}{100} = 62.6 \text{ gramos.}$$

Se requieren 62.6 gramos de yeso en los 200 litros de la solución para ob-  
tener las 72 ppm de calcio faltante.

Se ha efectuado el cálculo de cuatro elementos hasta aquí. Para los demás  
nutrientes al cálculo se efectúa con igual fórmula.

Diferentes métodos para preparar soluciones nutritivas.

Son tres los métodos que más se usan en la preparación de soluciones nutri-  
tivas en hidroponía: método de las soluciones madre, método normal y méto-  
do de adición de los fertilizantes mezclados en seco.

#### METODO DE LAS SOLUCIONES MADRE.

Este se utiliza más en trabajos experimentales donde se labora con distin-  
tas concentraciones en las soluciones y/o varios cultivos a la vez. Tam-  
bién se usa el preparar soluciones madre de microelementos, ya que como es-  
tos elementos son requeridos en muy pequeñas cantidades su pesado y prepa-  
ración presenta ciertos problemas prácticos. Generalmente, se elaboran --  
dos soluciones madre de microelementos, una de fierro y otra que contenga  
el resto de los microelementos.

La alta solubilidad de las sustancias que proporcionan los microelementos  
esenciales permite la preparación de soluciones muy concentradas; por ejem-  
plo un abastecimiento completo de micronutrientes para 10000 litros de so-

lución se puede disolver en uno a dos litros de agua.

Una manera práctica de preparar soluciones madre de micronutrientes consiste en elaborarlas diez veces más concentradas, es decir, pesar diez veces más la cantidad requerida de la sal para proporcionar la concentración recomendada del micronutriente y disolverla, por ejemplo, en cinco litros de agua.

El cuadro a continuación indica, como preparar una solución madre de micronutrientes sin necesidad de entrar en complicados cálculos.

PREPARACIÓN DE UNA SOLUCIÓN MADRE DE MICRONUTRIENTES. ADAPTADO POR ELLIS SWANEY (17).

| Salas                                     | Gramos/<br>Litros | Instrucciones para preparar y uso   |
|---|-------------------|---|
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 50                | 1.- Añada lentamente cinco mililitros de ácido sulfúrico concentrado a cada litro de agua.  |
| $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 20                |   |
| $\text{H}_3\text{BO}_4$                   | 28                |   |
| $\text{CuSO}_4$                           | 2                 | 2.- Añada lentamente, sin dejar de agitar cada una de las sales en el orden que presenta esta tabla.  |
| $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 2                 |   |
|   |                   | 3.- Cada mililitro (20 gotas) de esta solución añadido a 10 litros de la solución de microelementos proporciona a esta última: Hierro, 1.0 ppm; manganeso, 0.5 ppm; boro, 0.5 ppm; cobre, 0.5 ppm; zinc, 0.5 ppm. |

Nota: Se puede elaborar una solución madre por separado para cada micronutriente o una solución madre para todos juntos.

Para la mayoría de los macroelementos se puede hacer soluciones madre hasta 0.5 molares; sin embargo, con sustancias poco solubles como los superfosfatos o el sulfato de calcio sólo pueden prepararse soluciones con concentraciones 0.1 molar como máximo.

No es conveniente hacer soluciones muy concentradas de dos o más fertilizantes juntos ya que se propician reacciones químicas que pueden afectar el balance de los cationes y aniones en la solución y dar lugar a la formación de precipitados insolubles.

Antes de añadir las soluciones madre al agua en que se va a elaborar la solución final se debe calcular la cantidad requerida de cada una de ellas para lograr la concentración deseada de cada uno de los nutrientes. También hay que asegurarse de que, al menos, el 80% del agua se encuentre en el depósito donde va a elaborarse la solución final. Después se va añadiendo las cantidades necesarias de cada una de las soluciones madre agitando regularmente junto con cada adición y antes de añadir la siguiente. (17).

#### METODO NORMAL.

En este método, mucho menos elaborado que el anterior, los fertilizantes, en seco se van añadiendo uno a uno al agua y en las cantidades adecuadas para formar la solución nutritiva. Este es el método más usado para hacer la solución de macronutrientes; sin embargo, en instalaciones comerciales grandes se usa también este método para añadir elementos menores a la solución, como se demuestra en el cuadro que se escribe más adelante.

Después de hacer determinado la cantidad de cada fertilizante para proporcionar las concentraciones deseadas de cada uno de los elementos nutritivos, se procede a añadirlos separadamente en el agua del depósito. Cada uno se va añadiendo poco a poco y agitando el agua constantemente para asegurar una completa disolución.

CANTIDAD BASICA DE ELEMENTOS MENORES PARA INSTALACIONES HIDROPONICAS GRANDES ADAPTADO DE ALLIS Y SWANEY (17).

| Nutriente | Fuente                                    | Concentración (ppm) | Gramos de la fuente para 1000 litros |
|-----------|---|---------------------|--------------------------------------|
| Hierro    | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 1                   | 5.0                                  |
| Manganeso | $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.5                 | 2.0                                  |
| Boro      | $\text{H}_3\text{BO}_3$                   | 0.5                 | 2.8                                  |
| Cobre     | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | 0.05                | 0.2                                  |
| Zinc      | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.05                | 0.2                                  |

Cuando menos, el 50% del volumen total de agua deberá estar presente al elaborar la solución; el resto del agua se añadirá de haber diluido los fertilizantes. (26,55, 56,57).

Schwarz indica los siguientes pasos para elaborar una solución nutritiva de este tipo:

- 1.- Pesar los fertilizantes.
- 2.- Llenar el depósito de la solución.
- 3.- Se ajusta el pH del agua ya sea con ácido sulfúrico o con hidróxido de potasio.
- 4.- Se espolvorea el superfosfato y/o yeso en la superficie del agua.
- 5.- Se agita la solución por un minuto.
- 6.- Se añaden los otros macroelementos.
- 7.- Se repite la agitación de la solución con cada adición.
- 8.- Se ajusta el pH (6.0-6.5 en el caso de hortalizas).
- 9.- Se añaden los microelementos (previamente disueltos en solución madre)
- 10.- Se agita la solución por última vez.

METODO DE LA ADICION DE LOS FERTILIZANTES MEZCLADOS EN SECO.

En este método, todos los fertilizantes que intervienen en la solución (6 más comúnmente los macroelementos) se revuelven en seco hasta lograr una



mezcla homogénea y, posteriormente, se disuelven en el volumen total del agua necesaria para preparar la solución. El peligro de disolver la mezcla con poca agua es que al producir una alta concentración de sales se puede ocasionar la precipitación de los iones fosfato en compuestos insolubles. Es conveniente preparar varias veces la cantidad necesaria de fertilizante para hacer soluciones de este tipo. Por ejemplo, supóngase que la solución a preparar es de 1000 litros; una vez calculada la cantidad necesaria de cada fertilizante para proveer la cantidad deseada de cada elemento nutritivo, se pesa 10 veces esa cantidad de cada fertilizante, se mezcla uniformemente en seco y se puede preparar 10 veces una solución nutritiva de 1000 litros.

Para utilizar este método es imprescindible no utilizar sales higroscópicas ya que al absorber humedad de la atmósfera, además de ganar peso, hacen que la mezcla adquiera una consistencia masosa y pegajosa. [57].

#### Control técnico de las soluciones nutritivas.

Como ya se mencionó, las plantas crecen razonablemente bien dentro de rangos más o menos amplios de variación con respecto a los elementos esenciales. Sin embargo, para asegurar resultados satisfactorios se hace necesario el controlar ciertos factores técnicos relacionados con las soluciones nutritivas. De entre los factores que se deben tomar en cuenta cabe discutir, aunque sea brevemente, los siguientes: calidad del agua, pH de la solución, control del volumen de la solución y balance de los elementos nutritivos, [57].

#### CALIDAD DEL AGUA.

El agua para cultivo en hidroponía puede obtenerse de varias fuentes: lluvia, ríos, corrientes subterráneas, lagos, pozos, agua de mar destilada, etc.

Aparte del agua de lluvia, o del agua destilada, todas las fuentes naturales contienen cantidades variables de sales en solución, y si se van a usar en hidroponía deben ser sometidas a una análisis químico (sobre todo a nivel comercial o experimental) con el objeto de detectar y evitar posibles problemas nutricionales.

Si los sólidos totales presentes en el agua sobrepasan las 3000 ppm, Esta no se debe usar en hidroponia a menos que un experimento demuestre lo contrario. Con menos de 3000 ppm de sólidos totales el agua puede usarse en hidroponia si se consideran los siguientes detalles. [17]

- Que el agua no tenga un contenido superior a 500 ppm de cloruro de so dio (de preferencia que no sobrepase las 260 ppm).
- En agua "dura", es decir, con altos contenidos de sales de calcio y/o magnesio y que se debe corregir la solución en consecuencia. Por --- ejemplo, si el análisis químico indica que el agua posee 100 ppm, de calcio y 50 ppm de magnesio y la solución nutriente demanda respectivamente 300 y 50 ppm, sólo será necesario añadirle, mediante algún -- fertilizante, 200 ppm de calcio ya que el agua está aportando todo el magnesio necesario. También debe tomarse en cuenta, cuando se recircula la solución, que al restituir el agua perdida por evapotranspiración también se están agregando estas sales por lo que su concentración tiende a elevarse continuamente.
- Que en casos excepcionales, se pueden presentar metales pesados, sulfuro, o cloro libre en cantidades tóxicas para las plantas. [57]

Resumiendo, cuando se tenga intención de iniciar una instalación hidropónica comercial (y después periódicamente) se debe hacer un análisis químico del agua que se vaya a usar como fuente, en donde se debe cuantificar al menos:

- Sólidos totales
- Cloruros, si los sólidos totales exceden a 500 ppm
- Dureza; si es alta debe analizarse para calcio y magnesio
- Metales pesados, sulfuros y cloro libre sólo cuando se sospeche.

#### pH DE LA SOLUCIÓN.

Va sea a nivel de agricultura convencional en suelo, o en hidroponia, el pH de la solución que rodea a las raíces es de extrema importancia para un adecuado crecimiento de las plantas.

La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5 a 6.5. Se considera, en términos generales, que el man

tener la solución en un pH de 6 a 6.5 favorece un crecimiento vegetal satisfactorio.

---

RANGO DE pH RECOMENDADO PARA ALGUNOS CULTIVOS (33, 36, 41)

---

| Cultivo          | pH        | Cultivo     | pH        |
|------------------|-----------|-------------|-----------|
| Acelga           | 6.0 - 7.5 | Coliflor    | 5.5 - 7.5 |
| Ajo              | 5.5 - 8.0 | Colinabo    | 6.0 - 7.5 |
| Alcachofa        | 6.5 - 7.0 | Chicharo    | 6.0 - 7.0 |
| Apio             | 5.8 - 7.0 | Brocoli     | 6.0 - 7.0 |
| Berenjena        | 5.5 - 6.5 | Chile       | 5.5 - 6.5 |
| Berro            | 6.0 - 8.0 | Esparrago   | 6.0 - 7.0 |
| Calabaza (larga) | 5.0 - 7.5 | Espinaca    | 6.0 - 6.5 |
| Calabaza (bola)  | 5.5 - 7.0 | Fresa       | 5.5 - 6.5 |
| Cebolla          | 6.0 - 7.0 | Frijol      | 5.5 - 6.5 |
| Cebollina        | 6.0 - 7.0 | Frijol Soya | 6.0 - 7.0 |
| Col              | 6.0 - 7.5 | Jitomate    | 6.0 - 7.0 |
| Col Bruselas     | 6.0 - 7.5 | Lechuga     | 5.5 - 6.5 |
| Nabo             | 5.5 - 6.8 | Zanahoria   | 5.5 - 7.0 |
| Papa             | 5.5 - 6.0 | Mostaza     | 6.9 - 7.5 |
| Pepino           | 5.5 - 6.5 | Perejil     | 5.0 - 7.0 |
| Rábano           | 6.0 - 7.0 | Pimienta    | 5.5 - 7.0 |
| Sandía           | 5.5 - 6.5 | Tomillo     | 5.5 - 7.0 |
| Vid              | 5.5 - 6.5 |             |           |

---

Para medir el pH del agua o de la solución nutritiva hay varios métodos que se mencionan a continuación:

**PAPEL INDICADOR:** el pH se determina mediante la comparación del color - que toma el papel al introducirlo en la solución, con un catálogo cromático testigo. Este método es el más sencillo, más barato y por consiguiente más usado en hidroponía.

**SOLUCIONES INDICADORAS:** en casas donde se venden productos químicos se pueden adquirir sustancias que, añadidas a una muestra de solución, indican su pH en función del color que toman comparado también con un catálogo colorimétrico testigo.

**DETERMINACION ELECTROMETRICA:** se efectúa mediante aparatos especiales con electrodos, sobre todo cuando se requiere mucha precisión en la medición. Es conveniente ajustar el pH del agua antes de preparar la solución, o incluso durante el proceso de preparación, para favorecer una mejor disolución de las sales. También se recomienda determinar el pH periódicamente y corregirlo en consecuencia cada 4 a 8 días dependiendo del método de cultivo de hidroponía que se haya seguido. (46).

#### CONTROL DEL VOLUMEN DE LA SOLUCION.

El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen, proporcionalmente, mucho mas agua que elementos nutritivos, de tal manera que, cuando se recircula la solución nutritiva después de cada irrigación, al ir descendiendo el volumen de la solución, ésta se va haciendo cada vez más concentrada. De esta situación resulta un incremento progresivo en la presión osmótica de la solución y también del pH.

A medida que la presión osmótica de la solución aumenta, la absorción del agua por las raíces disminuye o sea que la ósmosis del agua a través de las membranas de los pelos radicales se retarda.

Si la concentración de sales llega a ser muy elevada se puede parar por completo el crecimiento de la planta e, incluso, ésta puede morir por desecación al salir agua de la raíz lo que significa que es el producto de una mayor presión osmótica alrededor de ella.

Generalmente, las soluciones nutritivas se elaboran con un rango de 0.5 a 2 atmósferas. En términos generales, una atmósfera, en la práctica, produce el crecimiento vegetal mas intenso, aunque en invierno la concentración óptima tiende a ser mayor (1.5 atmósfera) y en verano o en el trópico, menor (0.5 atmósferas).

Para mantener la presión osmótica adecuada y los niveles correctos de nutrientes en la solución, basta restituirle periódicamente el agua perdida por evapotranspiración. Esto puede hacerse todos los días, o en períodos

relativamente largos por ejemplo una semana. Si después de irrigar una unidad hidropónica con 1000 litros de solución regresan al depósito 900 litros, habría que añadir 100 litros de agua para restituir el volumen y la presión osmótica originales. (41).

#### BALANCE DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS.

La solución nutritiva se formula en base a lo que necesitan las plantas y no a lo que son capaces de absorber. El desbalance en, la concentración de los elementos esenciales, en las relaciones de unos con otros y en la presencia de iones extraños, afecta significativamente el desarrollo normal de las plantas cultivadas en hidropoia. (57).

**CONCENTRACION DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES:** ya se vió con anterioridad que una alta concentración de iones en la solución conduce a un incremento de la presión osmótica que retarda o anula el crecimiento vegetal, aún la alta concentración de un solo ión sin llegar a niveles de toxicidad eleva -- significativamente la presión osmótica total. Además las altas concentraciones de uno o más elementos nutritivos pueden ocasionar problemas de toxicidad en las plantas. Por otro lado, una solución muy diluida o la baja concentración de un elemento pueden provocar deficiencias nutricionales en la planta.

La concentración de microelementos (excepto hierro) en la solución debe -- ser tan baja, que varios autores consideran que los fertilizantes comerciales (sobre todo el superfosfato simple), fuente de los macroelementos, y el agua contienen como impurezas las cantidades adecuadas de manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno, para satisfacer las necesidades de las plantas.

**RELACIONES ENTRE ELEMENTOS NUTRITIVOS:** El nitrógeno para las plantas se suministra como nitrato  $[NO_3^-]$ , o bien como amonio  $[NH_4^+]$ . Debido al hecho de que el radical amonio es fácilmente asimilable, varios autores coinciden en que sólo debe usarse como fuente suplementaria y que la mayoría del nitrógeno debe suministrarse como nitrato. Una concentración elevada de amonio en la solución en relación a nitrato conduce generalmente a un crecimiento vegetal muy suculento (aguoso), producto de una absorción muy rápida de amonio en relación a la producción de carbohidratos. Dependiendo principal

mente de la edad y tipo de planta, de la duración e intensidad de la luz, del tipo de sustrato y de la reacción de la solución en relación al pH, es que se debe balancear la proporción de amonio con respecto a nitrato. En términos generales y para fines prácticos la literatura recomienda que --- cuando menos el 75% del nitrógeno total sea proporcionado en forma de nitrato.

La relación nitrógeno con el potasio es también de mucha importancia en hidroponía.

Los estudios publicados por Turner y Henry, establecen que las proporciones de nitrógeno y potasio deben ajustarse de acuerdo con la época del año y el tipo de plantas que se cultiven. (65).

Una concentración de 200 ppm, tanto de nitrógeno como de potasio en la solución nutritiva, se considera adecuada para la mayoría de las plantas; sin embargo, en un clima de verano, soleado y cálido, varias especies de plantas desarrollan mejor si se incrementa la concentración de nitrógeno de 250 a 300 ppm y se reduce la concentración de potasio de 150 o 100 ppm. Por el contrario en invierno, con poca luz y relativamente baja temperatura o bien cuando se presentan muchos días nublados consecutivos, el nitrógeno debe reducirse de 100 a 150 ppm mientras el potasio se eleva proporcionalmente a -- 250 o 300 ppm. En primavera u otoño, en latitudes intermedias, el ajuste es de unas 200 ppm tanto para el nitrógeno como para el potasio. El cambio estacional de las concentraciones debe hacerse gradualmente y no de golpe. Algunos cultivos como el pepino desarrollan bien con concentraciones del orden de 250 ppm, tanto de nitrógeno como de potasio, mientras que otros lo hacen en menos concentración. Cualquiera que sea la concentración óptima, en varios cultivos, lo más importante es mantener las proporciones adecuadas de nitrógeno con respecto al potasio según las condiciones climáticas. (3).

Otra situación que se da cuando las soluciones se hacen muy concentradas como las soluciones madre, es que el calcio reacciona con los sulfatos formando sulfato de calcio insoluble, lo que a la hora de hacer la dilución final ocasiona pérdidas que pueden dar lugar a una deficiencia. Las soluciones concentradas ahorran una considerable cantidad de trabajo y tiempo, sobre todo a escala comercial, pero se debe tener cuidado de no mezclar sales que contengan calcio. Es conveniente, entonces, preparar dos soluciones concentradas por separado, y una vez diluida una de ellas, agregar la porción correspondiente de la otra.

PRESENCIA DE IONES EXTRANOS EN LA SOLUCIÓN: con el tiempo y si la solución no se renueva periódicamente, ciertos iones no esenciales y a veces esenciales se van concentrando hasta ocasionar problemas de toxicidad o de excesiva presión osmótica.

Una de las principales razones que ocasiona la acumulación de iones es la absorción diferencial de las plantas. Algunos iones se usan en pequeñas cantidades y la constante adición de agua y nutrientes a la misma solución puede ocasionar la acumulación de ellos hasta concentraciones que lleguen a afectar el crecimiento vegetal. Otros factores que contribuyen a esta situación son el origen o fuente de agua, el tipo de sustrato y el tipo de sales usadas. Normalmente son los sulfatos y cloruros los que hay que vigilar continuamente junto con el sodio, ya que justamente se forman sulfatos y cloruros de sodio.

#### Soluciones Nutritivas típicas.

No existe una solución nutritiva óptima para un cultivo dado, además las plantas se desarrollan razonablemente bien aunque los elementos nutritivos oscilen dentro de rangos mas o menos amplios. [3].

Entonces una solución nutritiva puede ser adecuada para varias especies de plantas de cultivo o también un cultivo dado puede desarrollar adecuadamente con varias fórmulas siempre y cuando los elementos esenciales en la solución queden comprendidos dentro de los rangos óptimos para su desarrollo. Desde ese punto de vista cualquier persona puede elaborar su propia fórmula si toma en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- Mantener a los elementos nutritivos dentro de los rangos considerados como óptimos para las plantas.
- 2.- Mantener la presión osmótica dentro de ciertos límites (generalmente entre 0.5 y 2.0 atmósferas).
- 3.- Mantener el pH en un rango adecuado para el cultivo en cuestión.
- 4.- Balancear adecuadamente los elementos nutritivos ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}=\text{K}$ , etc.) tomando en cuenta las condiciones climáticas y las características del cultivo, del sustrato y del agua.

Existen en la actualidad mas de 100 fórmulas para preparar soluciones nutritivas que se han probado con éxito en la práctica de la hidroponía a través de todo el mundo. Algunas son adecuadas para ciertas condiciones climáticas y para ciertos cultivos, mientras que otras se prestan para condiciones y cultivos diferentes. Unas, propias para una época del año y otras --

para otra.

La elección de un fórmula determinada para un cultivo en una región dada depende fundamentalmente de la experiencia obtenida en la práctica en si tuaciones semejantes y de la experimentación que se efectúa. La elección depende también de la cantidad y tipo de sales que ya contenga el agua, - de los fertilizantes existentes y sus precios y del tipo y método del cul tivo hidropónico que se eligió.

Enseguida se dan algunos ejemplos de fórmulas para preparar soluciones nu tritivas típicas que ya han sido provadas para diversos cultivos.

- (1) Fórmula estándar para cultivo en grava en Japón. Fuente: Douglas -- (12).

---

| Sales                              | Gramos/100 litros de agua |
|------------------------------------|---------------------------|
| Nitrato de potasio                 | 810                       |
| Nitrato de amonio                  | 320                       |
| Sulfato de magnesio (sal de Epsom) | 500                       |
| Superfosfato (simple)              | 580                       |
| (micronutrientes)                  | (variable)                |

---

- (2) Fórmula para usarse cuando el calcio y el magnesio ya están presentes en el agua de riego (aguas duras) Fuente: Douglas.

---

| Sales              | Gramos/1000 litros de agua |
|--------------------|----------------------------|
| Fosfato de amonio  | 199                        |
| Nitrato de potasio | 964                        |
| Sulfato de amonio  | 142                        |
| Nitrato de amonio  | 85                         |
| (micronutrientes)  | (variable)                 |

---

- (3) Fórmula Lago. Fuente: Ellis y Swaney (18).

---

| Sales                              | Gramos/1000 litros de agua |
|------------------------------------|----------------------------|
| Sulfato de magnesio (sal de Epsom) | 780                        |
| Superfosfato (triple)              | 405                        |



| Sales                                  | Gramos/1000 Litros de agua |
|--|----------------------------|
| Nitrato de potasio                     | 770                        |
| Sulfato de calcio<br>(micronutrientes) | 1425<br>(variable)         |

Fórmula California. Fuente: Ellis y Swaney

| (4) Sales                              | Gramos/1000 Litros de agua |
|--|----------------------------|
| Sulfato de magnesio (sal de epton)     | 520                        |
| Nitrato de potasio                     | 660                        |
| Fosfato monoamónico                    | 120                        |
| Nitrato de calcio<br>(micronutrientes) | 720<br>(variable)          |

- (5) Fórmula básica para el método de fertilización en seco de cultivo - en agregado. Fuente: Adaptado de Bentley. (5).

Para hacer 10 Kg mezclar uniformemente

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Sulfato de amonio                        | 4.4 Kg.                   |
| Superfosfato (simple)                    | 1.6 Kg.                   |
| Cloruro de potasio                       | 1.4 Kg.                   |
| Nitrato de sodio                         | 1.2 Kg.                   |
| Sulfato de magnesio (sal de epton)       | 1.4 Kg.                   |
| Sulfato de fierro                        | 75 gramos                 |
| Acido Bórico                             | 12.5 gramos               |
| Sulfato de manganeso<br>(microelementos) | 12.5 gramos<br>(variable) |

- (6) Fórmula de Israel. Según Bertley.

| Sales                              | Gramos/1000 Litros de agua |
|------------------------------------|----------------------------|
| Nitrato de sodio                   | 700                        |
| Superfosfato (simple)              | 1000                       |
| Sulfato de potasio                 | 750                        |
| Sulfato de calcio                  | 140                        |
| Sulfato de magnesio (sal de epton) | 450                        |

| Sales                | Gramos/1000 litros de agua |
|----------------------|----------------------------|
| Sulfato de fierro    | 5                          |
| Boraz                | 20                         |
| Sulfato de manganeso | 1                          |
| Sulfato de cobre     | 0.1                        |
| Sulfato de Zinc      | 0.1                        |

(7) Fórmula de verano para Estados Unidos según Harris (25).

Proporciona en ppm N-180, K-410, Ca-220, Mg-50

| Sales                                  | Gramos/1000 litros de agua |
|--|----------------------------|
| Nitrato de potasio                     | 1100                       |
| Sulfato de calcio                      | 760                        |
| Sulfato de magnesio (sal de epton)     | 520                        |
| Superfosfato triple                    | 310                        |
| Sulfato de amonio<br>(micronutrientes) | 140<br>(variable)          |

Si se quiere calcular las concentraciones en ppm de cada elemento, de las fórmulas que aquí se mencionan, se recurre al método mencionado anteriormente.

EL MEDIO (SUSTRATO)

El medio sin suelo, así como el agua, grava, arena, aserrín, musgo, piedra pomez, vermiculita o cáscara de cacahuete, los cuales deben proveer oxígeno, agua, nutrientes y soporte para las raíces de las plantas como lo hace el suelo.

Se refiere un sustrato hidropónico como un material sólido y estable que permita el normal desarrollo del vegetal durante todo su ciclo de cultivo. Además, desde el punto de vista comercial debe ser de bajo costo de obtención y transporte, de fácil manejo y permitir el desarrollo de la planta encaminado hacia la mayor producción.

A continuación se hace una exposición de las propiedades físicas y químicas que presentan los materiales que se utilizan como sustratos en hidroponía más frecuentes. (20,25,26).

## PROPIEDADES FISICAS

### 1.- Densidad aparente y densidad real.

Ambos valores de fácil determinación en el laboratorio, son necesarios para establecer las cantidades de sustrato necesarias en peso y volumen para la puesta en marcha de un sistema. También la relación entre ambas nos va a dar datos de porosidad total y el volumen de líquido necesario para regar las camas, permitiendo obtener el volumen mínimo de solución de acuerdo con la frecuencia del riego. [59]

### 2.- Porosidad total.

Viene dada por las relaciones entre la densidad absoluta y relativa. Se divide en tres porosidades diferentes:

- a) macroporosidad; poros que después de una inundación quedan ocupados por aire (tamaño superior de 8  $\mu$ ):
- b) microporosidad; poros que después de una inundación quedan ocupados por agua (tamaño superior a 8  $\mu$ ):
- c) porosidad oclusiva; poros completamente cerrados al agua y al aire.

Desde el punto de vista de la hidroponía los conceptos tienen que sufrir una ligera modificación.

- a) la porosidad total menos la porosidad oclusiva se conoce como capacidad hídrica máxima y en este caso en lugar de hablar de volumen de poros se habla de volumen de agua;
- b) la microporosidad es un concepto similar al de capacidad de retención del agua con la diferencia de que en el caso de la microporosidad se habla de volumen de poros y aquí de volumen de agua.

Penningsfeld y Kurzmoin dan la relación de estas propiedades entre sí, -- considerando que un sustrato reúne las condiciones óptimas, cuando tiene una capacidad hídrica máxima de 70% y esta está repartida a partes iguales entre la cantidad de agua retenida y los poros ocupados por aire. No obstante el obtener un sustrato con estas características es muy difícil. El punto más importante es el regular el riego de acuerdo con las propiedades físicas del material, de esta forma se consigue un suministro óptimo de agua, oxígeno y nutrientes a las plantas. [61].

- 3.- Desde el punto de vista físico se puede afirmar que todos los sustratos van a presentar cierta disgregación con el tiempo de uso. Al estudiar los materiales volcánicos utilizados en Canarias en hidroponía, - de acuerdo con los años de antigüedad de su uso, se encontró que la -- propiedad que indica de forma más clara de disgregación sufrida era la porosidad.

Los materiales volcánicos son rocas que se forman del magma expulsado por erupción y presentan burbujas atrapadas (se le considera la espuma de la lava). Un ejemplo de estos materiales es el tezontle.

#### 4.- Estabilidad.

Es la resistencia física del sustrato frente a la alteración producida en él por la solución nutritiva, considerando esta última como agente erosivo. El uso de sustratos poco estables da lugar a que sea necesario el cambio periódico de los mismos, ya que lo que sí se produce es una disgregación, traerá como consecuencia la acumulación de los materiales finos en el fondo de las camas impidiendo el drenaje de la solución nutritiva lo que producirá una asfixia radical más o menos acentuada. Lo mismo ocurre en el caso de que el sustrato esté sometido a procesos de compactación o hinchamiento.

#### 5.- Granulometría.

Es un factor que oscilando dentro de unos límites normales de 10 a 5 mm de diámetro para los sustratos porosos y de 5 a 3 mm de  $\varnothing$  para los compactos no presenta ningún problema. No obstante resulta peligroso - el uso de sustratos no homogéneos, en especial, cuando existen cantidades considerables de materiales finos. Hanan pone como sustrato --- cualquier medio inerte que presente una granulometría de 20 a 0.3 mm - de  $\varnothing$  con unos valores superiores a un 70% de partículas de diámetro su perior a 3 mm, 90% superior a 1 mm y no más del 2% inferiores a 0.3 -- mm.

#### PROPIEDADES QUÍMICAS.

Son las derivadas de la composición y la naturaleza del sustrato. Debido a que la actividad que puede tener un sustrato se va a producir sobre la - solución nutritiva hablado de propiedades químicas y no de propiedades ff sico-químicas. Se enfoca estas propiedades desde el punto de vista de la

solución nutritiva con lo que se puede hacer dos apartados principales.

### 1.- Cesión de iones a la solución nutritiva.

Se puede considerar que prácticamente todos los sustratos ceden iones a la solución nutritiva, ya sea por tratarse de materiales con unas propiedades acusadas de intercambio catiónico, como por disolución o alteración de los minerales componentes del sustrato al entrar en contacto con la solución nutritiva. Normalmente la cesión de iones que tiene un mayor efecto sobre la rentabilidad de los cultivos es la referida a los micronutrientes, ya que son los que presentan unos límites más estrechos entre toxicidades y deficiencias, siendo pequeña la diferencia entre ambos puntos. Cuando la capacidad de cesión de un sustrato supere el valor considerado como óptimo para un determinado micronutriente se puede considerar que se está en un punto peligroso, ya que a esta cesión hay que sumarle las impurezas de los abonos empleados en la fabricación de la solución nutritiva y si bien puede ser que el valor no sea lo suficientemente alto para presentar síntomas visuales, si puede estar causando un efecto depresivo sobre la producción.

Respecto a los macronutrientes los límites de toxicidad son considerablemente más amplios y normales puede lograrse un balance de la solución nutritiva de acuerdo con la cesión de un determinado ión. En el caso de investigadores de Canarias han trabajado con materiales volcánicos encontrando una cesión bastante intensa de magnesio.

También hay materiales que pueden presentar cesiones de otros iones - que sin ser nutrientes van a resultar tóxicos para las plantas. En los materiales volcánicos se ha encontrado una cesión bastante intensa de sodio en los primeros momentos del cultivo.

Cuethkova ha encontrado una cesión de aluminio al utilizar ciertas arcillas expandidas, que producían una toxicidad manifiesta. Schwarz - (1967) al usar espuma de plástico encontró que durante las primeras semanas cedía formaldehído a la solución nutritiva. Existen también referencias con respecto a la utilización de resinas intercambiadoras de iones que se han utilizado ampliamente en hidroponía. [44].

### 2.- Retención de iones de la solución nutritiva [55] [63].

Al igual que se mencionó anteriormente se puede decir que todos los materiales usados como sustratos en hidroponía presentan alguna reten---

ción de iones.

En primer lugar se referirá a los micronutrientes. En este caso el problema es menos acentuado que en el caso de la cesión, ya que además de poder aumentar el contenido de los mismos en la solución nutritiva, es posible la aplicación periódica de pulverizaciones foliares asociadas a los tratamientos fungicidas y con los adherentes necesarios. La deficiencia más frecuente es la de hierro, debida más que al sustrato a la precipitación con los fosfatos al elevarse el pH de la solución. Se usan varios métodos para eliminar esta deficiencia, desde la utilización de quelatos que admiten pH elevados, hasta aplicación al sustrato de limaduras de hierro, puesto que van cediendo cantidades considerables del mismo. Sobre los materiales volcánicos que se utilizan en Canarias no es frecuente la deficiencia de hierro ya que tienen cantidades elevadas. Sin embargo si aparece con frecuencia la deficiencia de manganeso se corrige mediante la utilización de "sprays" foliares.

Respecto a los macronutrientes la retención está causada por diferentes factores:

- a. capacidad de cambio catiónico; se presenta en los materiales de naturaleza arcillosa, afecta principalmente a los cationes K, Ca y Mg en las primeras fases del cultivo, hasta llegar al equilibrio entre la solución y el complejo de cambio y aunque los cationes quedan retenidos pueden ser utilizados por las plantas;
- b. contenido en materia orgánica; a medida que se va utilizando un sustrato se va produciendo una acumulación de materia orgánica en las camas de cultivo, resultante de los restos de raíces; los efectos de esta acumulación se manifiestan sobre la solución nutritiva con la formación de complejos organo-minerales insolubles con los iones Fe, Al y fosfatos principalmente que pueden causar estados deficitarios a las plantas; posteriormente al disociarse estos complejos por descomposición de la materia orgánica los iones vuelven a quedar en libertad pudiendo producir efectos tóxicos.
- c. contenido de calcio; el contenido en calcio del sustrato se va a afectar directamente a la concentración de fosfatos en la solución nutritiva, ya que se puede producir una precipitación en forma de fosfato cálcico insoluble que evoluciona a la formación de un fos-

fato tricalcico que se situa alrededor de las partículas; Punnings feld y Kurzmann consideran como inutilizables aquellos sustratos - que contengan mas de un 20% de carbonato de calcio; no obstante -- han obtenido resultados satisfactorios con grava caliza, al añadir diariamente a la solución nutritiva cantidades suficientes de fosfatos para evitar deficiencia.

Como se ve en cada caso particular es necesario el conocer las propiedades físicas del sustrato y su actividad sobre la solución nutritiva de esta manera se acopla al suministro de agua oxígeno e iones a las plantas, así como se controla la solución nutritiva. - Esto permite la utilización del sustrato autóctono de cada región, que va a ser, por lo general, el de más bajo costo de obtención y transporte y por lo tanto el más económico. (60).

#### CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Debido a la amplitud de la literatura sobre sustratos utilizados en hidroponia se hace aquí una clasificación basada en el origen y las propiedades físicas y químicas estudiadas anteriormente. Por lo que se siguen los criterios a continuación. (59).

##### 1. Origen

Refiriéndose únicamente a que el material sea natural o artificial, se considera sustratos naturales aquellos que se utilizan como se encuentran en la naturaleza o que por lo menos no son el resultado de un proceso de fabricación. Se les llama artificiales a los resultantes de un proceso de fabricación industrial mas o menos complejo y que presenten una composición básica diferente de la materia prima empleada.

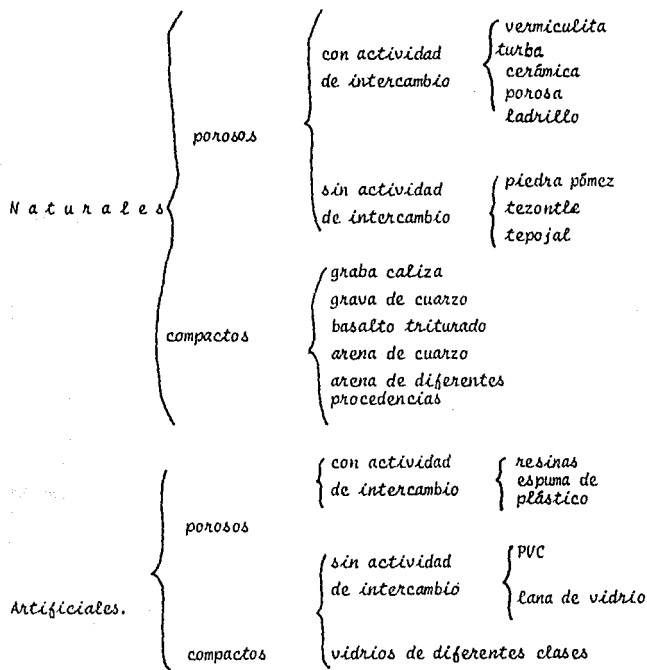
##### 2. Propiedades físicas

En partículas se refiere únicamente a los materiales porosos o compactos. Considerando como material porosos aquellos cuya capacidad de retención de agua depende de la microporosidad interna del material. Se considera como materiales compactos los que su capacidad de retención de agua está causada por la microporosidad interparticular únicamente.

##### 3. Actividad sobre la solución nutritiva

Con respecto a este punto, únicamente se podrá atención en la capacidad de intercambio, ya sea aniónico o catiónico. Considerando sin capacidad de intercambio los que actúan sobre un determinado ión únicamente y con capacidad de intercambio los que actúan sobre un grupo de iones ya sean aniones, cationes o ambos. En el siguiente cuadro se da la clasificación con varios ejemplos de cada tipo.

CLASIFICACION DE LOS SUSTRATOS USADOS EN HIDROPONIA





## ESTERILIZACIÓN DE SUSTRATOS HIDROPONICOS.

Sea cual fuere el sustrato elegido para cualquier sistema hidropónico es conveniente esterilizarlo ya que puede haber en ello microorganismos patógenos (hongos, bacterias, nemátodos) o después de utilizarlo durante seis meses a un año ya que puede existir una progresiva acumulación de estos microorganismos; ya sea porque han sido acarreados por el viento, por insectos o por el hombre mismo.

Lo que hace necesaria la esterilización continua del sustrato y de las tinas.

Los métodos de esterilización más usados para cultivos hidropónicos en pequeña escala son el de vapor de agua y agua muy caliente (casi hirviendo) y hay otros a base de productos químicos tales como: bromuro de etilo, hipoclorito de calcio y de sodio, formaldehído, ácido sulfúrico y agua oxigenada entre otros.

Dentro de la esterilización química el uso del bromuro de etilo parece ser el más adecuado para el cultivo en agregado. Los otros métodos son más apropiados y eficaces para el cultivo en grava lo cual de ninguna manera quiere decir que no se pueda usar bajo cultivo en agregado.

Esterilización con bromuro de etilo: Según Schwarz (50) es el método más rápido y eficaz de esterilización. El bromuro de etilo es un gas fumigante que se vende como líquido enlatado a presión. Se recomienda una dosis de 20 g por  $m^2$ . La fumigación se tiene que hacer bajo películas de polivinilo o polietileno bien cerradas, evitando así que salga el gas durante 24 a 49 horas. Pero antes el sustrato tiene que estar completamente humedecido con agua y después cubrir la tina o recipiente usado. Una vez cumplido el tiempo se descubre la tina, se inunda con el agua el sustrato, se drena y se puede usar la tina 48 horas después de haberse drenado.

Este producto químico es tóxico para el hombre por lo que se recomienda seguir las instrucciones de la etiqueta del producto.

Esterilización con Ácido sulfúrico: principalmente se usa para esterilizar grava de acuerdo al siguiente proceso según Sanchez del Castillo (46).

1. Se llena la tina con agua hasta cubrir toda la grava
2. Se aplica ácido sulfúrico, diluido al 10%, en la tina en proporción de un litro por  $m^2$ .
3. Se deja esta solución en la tina o recipiente usado durante 18 horas
4. Se drena y se lava dos o tres veces con agua y queda lista para sembrar.

Uno de los cuidados que se debe tener con este ácido es el de impedir que este en contacto con el sistema de bombeo y manejarse con mucho cuidado - impidiendo que caiga en la piel o ropa.

#### Esterilización con hipocloritos.

Se puede usar tanto el hipoclorito de calcio generalmente en polvo y el hipoclorito de sodio (normalmente en líquido). La concentración adecuada varía según Schwarz de 3000 a 10000 ppm. Procedimiento:

1. Se prepara la solución de hipoclorito de calcio se necesita disolver - 150 gramos de esta sustancia pura, en 10 litros de agua, y para una solución de la misma concentración de hipoclorito de sodio se requieren 178 gramos de esta sustancia en estado puro, para 10 litros de agua.
2. Inundar la o las tinas que se necesite esterilizar con cualquiera de - las soluciones que se hayan preparado durante 24 horas.
3. Drena la solución y lavar con agua pura 3 o 4 veces la tinas.
4. No ensobrar antes de 38 horas. Douglas menciona que para una esterili- zación más adecuada, a las soluciones de cloro antes de aplicarla se - les debe ajustar el pH de 8 a 10 y que el ácido clorhídrico concentra- do es el más adecuado para esto.

Otros esterilizantes: Aquí se mencionan solo tres esterilizantes, pero -- existen otras sustancias químicas que son menos usadas y son también efica- ces para esterilizar sustratos hidropónicos. De los cuales se pueden ci- - tar:

- Agua oxigenada al 0.3 %
- Cloruro de calcio al 0.5 a 1 Kg/m<sup>2</sup>
- Permanganato de potasio. (47) (63).

## SINTOMAS DE LAS PLANTAS PARA PODER RECONOCER LOS EXCESOS Y DEFICIENCIAS DE ELEMENTOS NUTRITIVOS DE LAS SOLUCIONES.

Aprender a reconocer las deficiencias y excesos de la solución nutritiva en uso es muy importante. Para apreciarse es necesario una cuidadosa observación, en donde, por la apariencia de las plantas; cuáles elementos de ben disminuirse y cuáles aumentarse. Este será el resultado de la experiencia en base a la adquirida ya por quienes se han dedicado a la hidropo- nía de tiempo atrás o por los experimentos científicos que han arrojado muchos informes sobre estos problemas.

En el cultivo con soluciones nutritivas se observan los mismos síntomas -- que en los cultivos en tierra cuando ellos son originados en la calidad y cantidad de los elementos químicos. Pero la diferencia fundamental es que al cultivar en soluciones hidropónicas se pueden utilizar correctivas que actúan sobre las plantas mucho más rápidamente que en los cultivos en tierra, de tal modo que, por ejemplo varían súbitamente las condiciones del tiempo, se puede reajustar la solución casi instantáneamente, mientras que en el cultivo en tierra el proceso es mucho mas costoso y puede requerir -- varias semanas para dar resultado. De ahí la importancia y utilidad de -- los datos que se dan a continuación: {30,42}.

### CLAVES DE SINTOMAS DE DEFICIENCIA

Esta clave es dada por L.C. Chadwick, de la Universidad del Estado de Ohio. Se supone que las plantas muestran un desarrollo imperfecto, general en to das la planta, localizado y que no son imputables a microorganismos, insec tos ni otros parásitos.

- I.) Los efectos se manifiestan en toda la planta o están localizados en las hojas viejas (inferiores).
  - A. Los efectos se manifiestan en toda la planta, aunque con frecuencia se da a conocer por amarillez y muerte de las hojas viejas.
    - 1) Follaje verde claro. Planta desmedrada, tallos delgados y muy pocas ramificaciones. Hojas pequeñas; las inferiores de color amarillo mas claro que las superiores. La amarillez va seguida de desecación con color castaño claro, generalmente con poca ca da de hojas.

Esto significa deficiencia de NITROGENO.

- 2) Follaje verde oscuro. Crecimiento retardado. A veces, las hojas inferiores amarillean entre los nervios, pero con mayor frecuencia toman una coloración purpúrea en el peciolo. Las hojas se caen pronto.

Esto significa deficiencia de FOSFORO.

B. Los efectos se manifiestan generalmente en las hojas más viejas (Inferiores)

- 1) Hojas inferiores moteadas, generalmente con manchas necróticas cerca de la punta y de las márgenes. La amarillez empieza en los márgenes y continúa hacia el centro. Mas tarde los márgenes toman color castaño se encorvan hacia el envés, y las hojas viejas se caen. Esto significa deficiencia de POTASIO

- 2) Las hojas inferiores manifiestan clorosis (amarillez) pero no presentan manchas hasta las últimas fases. La clorosis empieza en la punta de las hojas y se extiende hacia abajo y hacia el interior, a lo largo de los bordes y entre los nervios. Los márgenes de las hojas pueden curvarse hacia arriba o dar a la hoja aspecto arrugado. (Rara vez se presenta esa deficiencia en soluciones con pH 5,5 o más). -- Esto significa deficiencia de MAGNESIO.

II) Los efectos están localizados en las hojas nuevas.

A. La yema terminal permanece viva

- 1) Las hojas muestran clorosis (amarillez) entre los nervios; estos permanecen verdes.
  - a) Generalmente no hay manchas necróticas. En los casos extremos, se secan los márgenes de las hojas y estas se caen de las ramas. Esto significa deficiencia de HIERRO.
  - b) Generalmente hay manchas necróticas, esparcidas sobre la superficie de las hojas. Aspecto escaqueado, producido por -- los pequeños nervios que permanecen verdes. Caída de la hoja. Las hojas jóvenes se quedan descoloridas.

Esto significa deficiencia de MANGANESO.

- 2) Hojas verde claro, con los nervios más claros que la superficie adyacente. Aparición de algunas manchas necróticas. Poca o ninguna desecación de las hojas viejas.

Esto significa deficiencia de AZUFRE.

B. La yema terminal muere.

- 1) Alteraciones de las hojas jóvenes en la punta y en los márgenes.

Las hojas jóvenes quedan a veces definitivamente retorcidas de la punta.

Esto significa deficiencia de CALCIO.

- 2) Alteraciones de las hojas jóvenes en la base. Tallos y peciolos quebradizos.

Esto significa deficiencia de BORO.

CLAVE DESCRIPTIVA (30).

Deficiencia de NITROGENO:

1. Mal desarrollo. Plantas de menor altura. Hojas pequeñas y raquíticas. Planta desmedrada. Entrenudos cortos.
2. Las hojas se vuelven de color verde amarillento y más tarde completamente amarillas.
3. Los nervios toman con frecuencia color púrpuro.
4. Las flores son más pequeñas de lo normal.
5. Las raíces toman con frecuencia mayor desarrollo que la parte aérea.
6. La deficiencia se presenta en primer lugar en las hojas inferiores.

Deficiencia de FOSFORO:

1. Primer período; las hojas amarillean en los márgenes. Período avanzado, muerte y caída gradual de las hojas de la parte inferior de la planta.
2. Desarrollo imperfecto.
3. Sistema radicular deficiente.

#### Deficiencia de POTASIO:

1. Amarillez de los márgenes de las hojas en el primer periodo, seguida de color castaño, o la muerte de esas zonas amarillas. Esto de la apariencia de planta chamuscada.
2. Mas tarde aparecen manchas en los nervios.
3. Las plantas son mas susceptibles a los insectos y enfermedades.
4. La deficiencia se presenta en las hojas inferiores.

#### Deficiencia de HIERRO:

1. Clorosis de follaje
2. Aparece primero en la parte superior de la planta.
3. Retraso del crecimiento.
4. En las últimas fases las hojas cloróticas se queman intensamente. - Esto empieza en la punta y los márgenes y se extiende hacia el interior.

#### Deficiencia de MAGNESIO:

1. Planta desmedrada
2. Clorosis. Los nervios permanecen verdes
3. Las hojas se arrugan
4. Esta deficiencia se manifiesta primero en las hojas de la parte inferior de la planta.
5. Hojas pequeñas. El peciolo de las hojas es corto.
6. En las últimas fases aparecen regiones muertas entre los nervios - de las hojas. La aparición de estas regiones muertas es casi repentina (dentro de un periodo de 24 horas)
7. La floración se retrasa. Las flores tienen mal olor.

#### Deficiencia de CALCIO:

1. Las raíces alimenticias mueren casi todas.:
2. La planta muy desmedrada.

3. El extremo de la planta y los extremos de las hojas superiores mueren.

#### Deficiencia de MANGANESO:

1. Clorosis. Color verde amarillento entre los nervios y el resto -- verde oscuro. Esta deficiencia se distingue de la del magnesio en que la clorosis aparece primero en la parte superior de la planta, mientras que en falta de magnesio aparece primero en las hojas inferiores.
2. Plantas algo raquíticas.
3. Las hojas tienden a abarquillarse en los márgenes hacia el envés.

#### Deficiencia en AZUFRE:

1. La deficiencia se manifiesta primero en la parte superior de la -- planta.
2. Clorosis, que difiere de los otros tipos de clorosis en que los -- nervios toman color amarillo, mientras que el resto de las hojas - permanece verde.
3. La planta toma menor altura.
4. En la base de las hojas aparecen manchas purpúreas de tejido muerto.

#### Deficiencia de NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO:

El resumen que a continuación se escribe es de P.W. Mc Elivice, distribuido por American Potash Institute. (42).

- "1) La deficiencia de NITROGENO produce notable enanismo en la planta y amarillez en la hoja. Las hojas jóvenes empiezan a amarillear - un poco después que las hojas viejas. Las hojas afectadas mueren lentamente y permanecen adheridas a la planta durante algún tiempo. La planta deja de crecer tan pronto como empieza a amarillear.
- "2) La deficiencia de FOSFORO produce notable enanismo y la mayoría de las hojas conservan un color verde oscuro anormal. En los casos -

graves, las hojas mas viejas toman color verde grisáceo o verde -- púrpura y mas tarde se ponen amarillas. La amarillez suele empe-- zar en los bordes y progresa hacia el peciolo. La hoja se cae con frecuencia antes de ponerse completamente amarilla. La planta de-- ja de crecer tan pronto como las hojas empiezan amarillear.

- "3) La deficiencia de POTASIO suele producirse solamente un ligero -- enanismo de la planta y las hojas conservan su color verde oscuro-- normal; hasta que son afectadas por los daños característicos de -- la falta de potasio. El daño se manifiesta primero en las hojas -- viejas, en las que los bordes y los espacios entre los nervios to-- man color amarillo, conservando los nervios el color verde. Mas -- tarde, las hojas toman un color pardo y van muriendo gradualmente -- a lo largo de los bordes por manchas aisladas. Permanecen adhi-- eridas a la planta por algún tiempo después de muertas."

#### SALES PARA CORREGIR DEFICIENCIAS.

Para corregir las deficiencias no es necesario emplear gran número de sa-- les. Son suficientes cuatro: Nitrato de Calcio,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; Nitrato de po-- tasio,  $\text{KNO}_3$ ; Fosfato Nonocálcico,  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ ; Sulfato de Magnesio,  $\text{MgSO}_4$ . Estas cuatro sales suministran el NITROGENO, el POTASIO, el FOSFORO y el -- MAGNESIO; además de CALCIO y el AZUFRE. Esto es así en la práctica corrien-- te, cuando no se emplean sales químicamente puras. Empleando fertilizantes -- comunes o sales de uso industrial, las cuatro sales mencionadas contienen -- los restantes elementos de impurezas y generalmente en cantidades suficien-- tes, con la posible excepción del HIERRO y el MANGANESO, que en este caso -- serán compensados utilizando soluciones preparadas en la forma que ya se -- ha indicado. (30,42).



## MÉTODOS DE CULTIVO EN HIDROPONÍA.

Como ya se mencionó anteriormente cualquier método de cultivo hidropónico consta de los componentes siguientes: solución nutritiva, tinas o macetas, sustrato, sistema de riego y drenaje.

**Solución Nutritiva:** es la disolución de varios fertilizantes (o nutrientes) en el agua, con lo que se riegan las plantas, y cuya función es proporcionar los nutrientes requeridos por ellas en las proporciones adecuadas.

**Tinas o Macetas:** las tinas son recipientes de distinto tamaño y material, que contienen el sustrato donde se cultivan las plantas. Generalmente se construyen de forma rectangular con una profundidad de 20 a 30 cm y con un ancho entre los 20 y 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 (en laboratorio), hasta 50 metros o más en escala comercial. Schwarz (49), 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, piliester, plástico, ladrillo, polivinilo, policetileno, cartón asfaltado, etc.

A 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 la planta, mientras que la lámina de fierro sin galvanizar se oxida fácilmente. Lo más barato para impermeabilizar (aquí en México) es el 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 intoxicaciones a las plantas o a las personas que comen de esa planta.

Dependiendo también del método de cultivo hidropónico que se utilice, las tinas se construirán impermeables o permeables. En este último caso la solución no será recirculada. Para algunos cultivos y en determinados ca

sos, 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 aspersión en el sustrato (un aspersor por maceta), por capilaridad, o simplemente por regadera.

Sustrato: como ya se ha estado mencionando su función es la de sustituir al suelo agrícola proporcionando a las plantas las más adecuadas condiciones edáficas para su desarrollo. Podemos encontrar una gran variedad de sustrato los cuales se utilizan en hidroponía; entre los más usados se encuentran: arena, grava, tezontle, confitillo, ladrillos quebrados o molidos, - agrolita, vermiculita, turba vegetal (peatmoss), lagnito, aserrín, resinas sintéticas (poliuretano), cascarilla de arroz, carbón, cáscaras de cacahuete, etc., también se ha usado como sustrato la mezcla de dos o más de ellos.

También puede usarse la solución nutritiva como sustrato, proporcionándoles a la planta algún tipo de soporte. Este último es el llamado cultivo en agua o acuacultura. [62].

Sistema de Riego: el riego en hidroponía es por:

Inundación o vertido

Subirrigación

Aspersión

Goteo

Capilaridad

Atomización a las raíces (aeroponía)

Cada uno de estos sistemas de riego tienen sus propios tipos de drenaje. - Posteriormente se mencionará con detalle cada uno de los sistemas de riego. [36,41,46].

Clasificación de los Métodos de Cultivo en Hidroponía.

Hay una gran variedad de métodos diferentes para realizar un cultivo en hidroponía. Muchos autores coinciden en agruparlos en cuatro categorías:

Cultivo en Solución Nutritiva: También se le ha dado los nombres de cultio

vo en agua y de acuacultura.

**Cultivo de Agregado:** comprende a todos aquellos métodos que utilizan como sustrato a la arena o agregados que posean propiedades semejantes: perlita, vermiculita, aserrín, etc. (12).

**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 menciona además otra categoría que denomina: (61).

**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 automatizado de macetas, el de cultivo de forraje en hidroponía, el de técnica de 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 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 del sustrato y de mano de obra, etc.

Para ilustrar esto un poco más se discuten cada una de las categorías anteriores, mencionando sus características sobresalientes y los principales métodos que se utilizan en pequeña escala, ya que este trabajo pretende ampliar el conocimiento de hidroponía a niveles pequeños como en el caso de un laboratorio. (13,58).

## CULTIVO EN AGUA.

De todos los métodos sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es la verdadera hidroponía. El cultivo en agua incluye aeroponía y también película nutritiva. En el sistema aerónico las raíces de la planta están suspendidas dentro de una cámara oscura cerrada en la cual los chorros de solución nutritiva son rociados periódicamente sobre ellas, para mantener

el 100% de humedad relativa. En cultivo en agua las raíces de la planta -- son sumergidas en un medio líquido (solución nutritiva), mientras que sus coronas son soportadas por una cama o lecho delgada de medio inerte, para -- mantener erectas a las plantas. (61).

Para favorecer el crecimiento de las plantas en este medio es necesario manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas tales como:

- 1) Aireación de la raíz: Este puede ser conseguido de una o dos maneras; primero: aireación forzada (por una bomba o compresor) haciendo pasar, una burbuja de aire dentro de la solución nutritiva, por un tubo con perforaciones, conectado a la base de la cama o envase. Segundo: la solución nutritiva es circulada con una bomba a través de las camas y un depósito.
- 2) La manera más común para oxigenar a la solución nutritiva, es dejando un espacio de aire entre la superficie de la misma y de la parte inferior de la cama o lecho que soporta a la raíz, de tal manera -- que las raíces superiores están rodeadas por aire húmedo mientras -- que las inferiores están sumergidas en la solución. Si las raíces -- crecen el nivel de la solución se va bajando, para aumentar el abastecimiento de agua.
- 3) 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 del agua no se presentan. -- En este caso un tapón de hule o de concho o un acolchonado de algodón no absorbente es suficiente para mantener a la planta en su lugar.

Para el método de cultivo 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. (74).

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 posibilidad de contaminar

se. 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 jitomate.

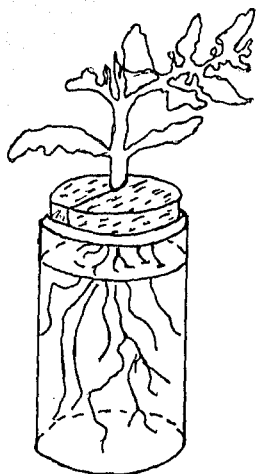
Retención de humedad del agregado: materiales que se secan muy rápido no son convenientes para las plantas cuyas semillas se siembran directamente en el lecho, porque afectan la germinación. Sin embargo, si son satisfactorios para aquellos cultivos susceptibles a las pudriciones de la corona. Quizá el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

- 4) Oscuridad de la raíz: la planta normalmente puede funcionar con sus raíces expuestas a la luz durante el día, son siempre proveídas en el 100% de humedad relativa. Sin embargo la luz promoverá el crecimiento de algas, lo cual interfiere con el crecimiento de la planta compitiendo por nutrientes, reduciendo la acidéz de la solución, -- produciendo olores, compitiendo por oxígeno de la solución nutritiva en la noche y produciendo tóxicos a través de su descomposición, lo que puede interferir con el crecimiento de la planta. Para eliminar el crecimiento de algas se construyen camas o se cubren los envases con materiales opacos.

La forma más sencilla de este cultivo en agua, consiste en un vaso con la solución nutritiva en la cual las raíces de las plantas están colgando, y en un dispositivo para dar soporte al tallo de la planta como lo muestra la figura 1. El famoso científico Robert -- Boye de Irlanda ya trató este método alrededor del año 1665. [26].

Alrededor del año 1850 el método de cultivo en agua ha sido utilizado en el estudio de la nutrición de la planta. Disolviendo diferentes sales en la solución nutritiva se ha descubierto qué clase de elementos necesita una planta para su crecimiento y desarrollo. De esta manera el cultivo en agua ha sido el trampolín para el uso de fertilizantes minerales en agricultura y horticultura. [28].

Fig. 1 La forma original del cultivo en agua



Fue en 1929 cuando el Profesor Gericke en los Estados Unidos introduce el método de cultivo en agua comercialmente para la producción de jitomate. Las plantas fueron fijadas en mallas sobre un tanque en que las raíces están sumergidas en la solución nutritiva. A pesar de todos los resultados fantásticos mencionados en la prensa, pronto se evidenció que los conocimientos de la técnica fueron insuficientes para una competencia real con la producción en tierra. Las principales dificultades surgieron en el suministro de hierro y oxígeno; el hierro originalmente añadido como sulfato ferroso se precipitó demasiado rápidamente y no fue posible disolver suficiente oxígeno en la solución. Además, fijar las plantas en la malla exige mucho trabajo. Por estas razones se ha abandonado completamente el método de cultivo en agua para objetos comerciales en el comienzo de los años 30. [Fig. 2] [62].

Durante los años 1956 - 1959, en la Estación de Investigación y Experimentación de Naaldwijk, Holanda, se han hecho experimentos con jitomates en cultivos en agua, con el objeto de estudiar la nutrición de los tomates por una solución nutritiva. Se encontraron los mismos resultados que Gericke en los años 30, pero ahí usaron un quelato para la nutrición de hierro, usando una aireación forzada por circulación continua de la solución nutritiva con una caída libre en la entrada de la cama y otra caída libre al retornar el tanque, y sin olvidar un mejor conocimiento general sobre la composición apropiada de la solución nutritiva. [65,74].

Estos experimentos no fueron hechos con el objeto de promocionar la producción comercial con el método de cultivo en agua. Sin embargo, más o menos

surgen sorpresas al encontrar producciones más altas que con el método con solidado en cultivo en grava. Aún se ve que método de cultivo en agua para producción de jitomates no es conveniente, porque al tener que fijar -- las plantas lleva mucho trabajo y también aún no se ha concluido de que ma nera se pueda transplantas las plantas jóvenes del semillero al cultivo en agua. (68).

Fig. 2. El método del cultivo en agua según Geriche

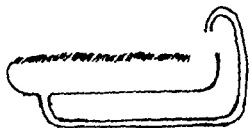
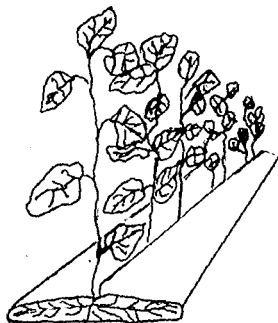


Fig. 3. El principio de la técnica de película nutritiva como la desarrolló Shoto Douglas.



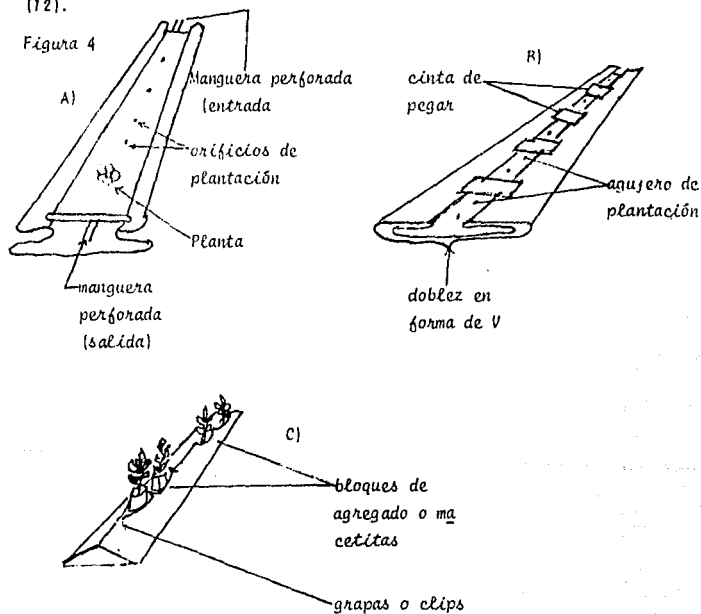
Hace cinco años el método de cultivo en agua surgió nuevamente como una posibilidad para la producción de verduras. Ahora con una película de solución nutritiva (conocido en otros países como método(NFT) muy delgada en cubetas de diferente construcción, hechas de plástico u otro material en la cual la planta tienen que ser fijada - (Fig. 3). Fue Shoto Douglas, quien desarrolló este sistema en la India, con el objeto de abrir una posibilidad sencilla para la población local de poder cultivar sus propias hortalizas. El problema de fijar las plantas en este sistema no es de mucha importancia económica.

La técnica de película nutritiva es -- una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas están creciendo en un sistema donde las raíces están en un hueco, rodeadas de una capa plástica, a través de la cual la solución nutritiva es circulada continuamente. (73). Allen Cooper fue el pionero en trabajos en película nutritiva (NFT) en el Instituto Glasshouse Crops Research en Littlehampton, Inglaterra en 1965. El término de película nutritiva fue in-

ventado en el Instituto para enfatizar que la profundidad del líquido es pequeña y está fluyendo por las raíces de las plantas, en donde se asegura que el oxígeno suministrado es suficiente para las raíces de las plantas.

Las tinas son sustituidas por tubos de polietileno negro dobladas de manera especial, por zanjas forradas y recubiertas con polietileno negro o por canales hechos con polietileno negro engrapado adecuadamente. La solución puede hacerse circular directamente por el polietileno, o bien a través de mangueras perforadas de PVC (o material similar) que atraviesan longitudinalmente el ducto del polietileno. (43).

La figura 4 muestra A) el diseño de tubo de polietileno doblado con manguera perforada interna. B) Tubo de polietileno doblado sin manguera y C) Canal de polietileno con cubitos de agregado o macetitas. Douglas y Cooper - (12).

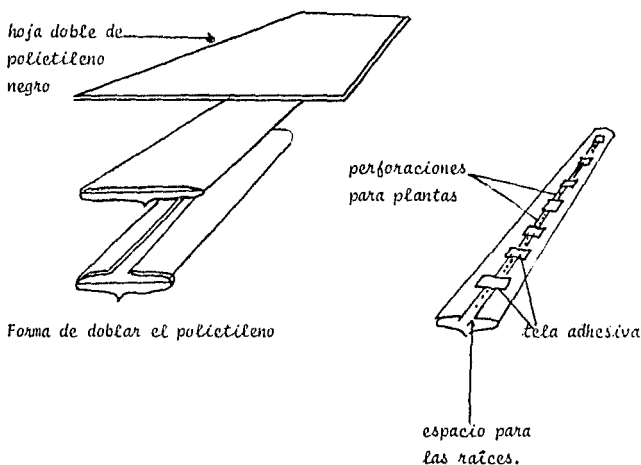




La figura 5 muestra un diseño para laboratorio de la técnica de la película nutritiva que se puede hacer con tubos de polietileno negro de 80 cm de ancho.

Los canales donde van colocadas las macetas son de polietileno de calibre 500 (0.127 mm) y pueden ser tan largos como se desee. El suelo donde se coloque los canales (o la superficie) no debe presentar ondulaciones, pero sí pendientes mayores de uno en cien para evitar cualquier anegamiento. -- (41, 46)

Fig. 5



Las semillas o esquejes del cultivo elegido se siembran en bloques pequeños compactos de turba vegetal o poliuretano, o en macetitas (rellenas de algún agregado) hechas con papel asfaltado o tela plástica de la que se usa para hacer mosquiteros o canastas de mercado. Cuando las plantas han alcanzado una altura de 5 cm, las macetitas o bloques se colocan sobre una plancha de polietileno, el cual posteriormente se dobla, como en la figura, para sujetar dichas macetitas y para formar el canal por donde circulará la solución nutritiva.

La planta debe de llevar algún tipo de soporte, lo cual se tiene que pre-  
ver desde el diseño.

La bomba hace circular la solución hasta el tubo distribuidor (que mide ge-  
neralmente 2.5 de diámetro), el cual está a unos 5 cm por encima de los ca-  
nales y lleva pequeñas perforaciones a intervalos regulares para depositar  
la solución en ellos. Como la caída es al aire libre se puede checar el -  
flujo de solución además de que se contribuye a su aireación. Para que la  
presión sea más o menos homogénea a lo largo del tubo distribuidor, las --  
perforaciones deben ser pequeñas o, si no, se colocan llaves de paso para  
regular la cantidad de solución que entra a cada canal. (43,53,65).

La película de solución al circular por el canalito va irrigando la parte  
inferior de las raíces hasta que, finalmente, cae de regreso al depósito.  
Se debe mantener un volumen constante en el depósito, lo cual se puede lo-  
grar mediante un mecanismo de flotador o con adiciones de solución día---  
rias.

Se debe realizar análisis químico periódico a la solución para ir sustitu-  
yendo las sales que se le van agotando. También se puede renovar periódi-  
camente cada 8 a 15 días.

Ventajas del sistema de película nutritiva:

- Un sistema radical pequeño puede soportar, a una planta muy grande
- No hay pérdida de agua por drenaje, evaporación o filtración; sólo se -  
pierde el agua transpirada; además, como las plantas crecen en una peli-  
cula delgada de solución, la capacidad de almacenamiento es mínima. Am-  
bas condiciones son de valor en zonas áridas.
- No requiere esterilizaciones
- Se logra gran control sobre el agua y los nutrientes
- Las plantas cosechadas se remueven fácilmente.
- Los costos de instalación son comparativamente bajos.
- Puede operar casi automáticamente.

Desventajas de esta técnica:

- Se requiere gran habilidad técnica y mucho cuidado con los detalles pa-  
ra poder operar con éxito.

- Más costos de operación debido principalmente al bombeo continuo.

#### CULTIVO EN AGUA EN PEQUEÑA ESCALA.

Como ya se mencionó, en este método casi cualquier recipiente de vidrio, - porcelana o plástico, es adecuado para el cultivo de plantas en solución; tanto en el interior como en el exterior de casas o laboratorios. También se dijo, que para tener resultados satisfactorios las raíces deben permanecer en la oscuridad, por lo que si se usan recipientes de vidrio deben ser pintados de negro o forrados con cartón, pilielileno negro, papel aluminio, etc. La aireación se logra dejando un espacio de dos a cinco cm por encima de la solución nutritiva. El sosten de la planta puede ser un tapón de corcho, de hule, o papel aluminio, de total acolchonado con algodón no absorbente, muselina suave, etc.

Con el propósito de mejorar la aireación se puede introducir al recipiente, un tubo de cristal al cual se le sopla eventualmente para hacer burbujear la solución (ver Figura 5).

Otro método desarrollado por The Jersey Agricultural Experiment Station -- prevé la circulación de la solución nutritiva (ver figura 7).

La cantidad de carga y descarga se puede ajustar a un litro por día y la solución descargada puede ser utilizada por una semana o quince días. Este sistema es básicamente por goteo, usándose tubos capilares de 0.5 mm de diámetro interior. La aireación se obtiene forzando aire bajo presión (con una bomba de acuario o soplando periódicamente en el tubo de aireación. (28)

La entrada y salida de la solución del recipiente que contiene el cultivo podría regularse más adecuadamente si, el lugar de tubos capilares de vidrio, se utilizan equipos de plástico, como los que se usan para aplicar sueros en los hospitales, ya que cuentan con un sencillo dispo

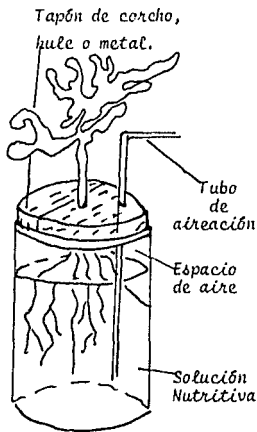


Figura 6

sitivo para regular el número de gotas, y no se rompen tan fácil. Un refinamiento del método anterior que no requiere una fuente adicional de aire se puede ver en la figura 8. El tubo de entrada es aumentado en longitud y altura por fuera del recipiente.

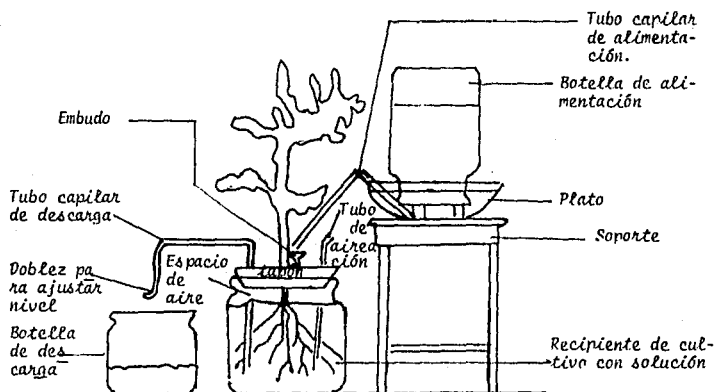


Fig. 7. Método de flujo continuo en solución. Fuente adaptada de Ellis y Sney (New Jersey Agricultural Experiment Station)

Cada gota de solución nutritiva desarrolla la velocidad suficiente como para atrapar una partícula de aire dentro del tubo de entrada del recipiente de tal manera que mientras circula solución en el área radical se burbujea aire dentro del recipiente. (15) (46).

Este método puede ser muy adecuado para la enseñanza. Como experimentos sencillos, para mostrar los efectos de las deficiencias nutricionales en las plantas, así también los efectos del pH y la falta de aireación.

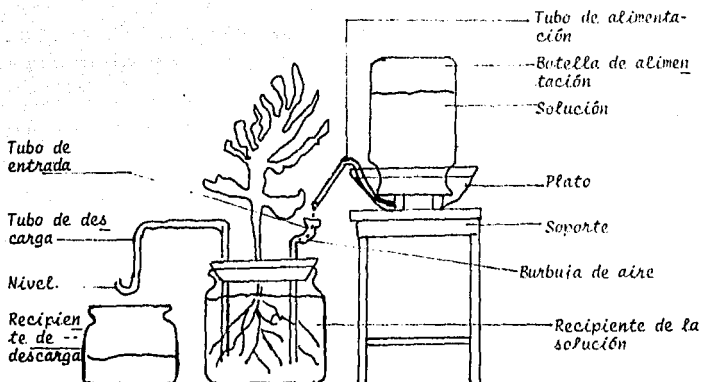


Fig. 8. Método de flujo continuo y aireación constante de la solución nutritiva. Fuente de Hollis [29].

Dentro de este método en pequeña escala se puede utilizar cajas o tanques como lo muestra la figura 8. Donde la aireación puede proporcionarse de jando un espacio para las raíces o mediante una bomba de acuario. Además deben impermeabilizarse los tanques que contienen la solución, ya sea con pintura de asfalto o con forro de polietileno.

Estos modelos se diferencian en la forma de sostener a las plantas y en -- los materiales de que están hechos.

#### V E N T A J A S .

- Como no hay pérdida en fertilizantes, hay un gran ahorro en ellos.
- Existen cultivos que necesitan grandes requerimientos de agua para su -- óptimo crecimiento, por lo que este método es mejor que cualquier otro (ejemplo claro es el pepino).
- Ahorro considerable en la inversión inicial, porque sólo eventualmente se requiere de una bomba (relativamente barata) para airear la solu-- ción nutritiva, ya que no requiere de un sistema de bombeo, ni tanque de almacenamiento como otros métodos.

### DESVENTAJAS .

- Es caro el sistema de soporte para las plantas.
- A la solución nutritiva hay que proporcionarle una temperatura adecuada (22 - 25°C) y evitar cambios bruscos de la misma.
- Es necesario un sistema eficiente de aireación.
- Exige más habilidad y experiencia técnica, así como conocimientos más amplios en química general y fisiología vegetal.
- Requiere riguroso control de la solución (pH, fosfatos, fierro, etc).
- Se debe tener mucho cuidado con todos los detalles de este método. --- (41,46).

### CULTIVO EN NIEBLA .

Muy relacionado con el cultivo en agua es el cultivo en niebla, frecuentemente llamado "aeroponía". Las raíces no está sumergidas en la solución nutritiva como en cultivo en agua, sino en un espacio donde la solución nutritiva está continuamente suministrada en forma de niebla como un aerosol. El fijar las plantas presenta el mismo problema como el cultivo en agua, mencionado antes. Este método ha sido utilizado hace 25 años en Gran Bretaña para manzanos, con fines de investigación. Desde hace 10 años éste método está en desarrollo para fines comerciales, especialmente en Italia. (56).

### CULTIVO EN GRAVA .

En este método el material es generalmente no absorbente cuyas partículas miden entre 3 mm y 2 cm de diámetro. Las partículas deben ser lo bastante duras para no dividirse, pudiendo retener humedad en los espacios que hay entre estas y buen drenaje que permita la aireación de las raíces.

Dentro de los materiales que se consideran como grava están los siguientes; basalto, granito, tezontle, piedra pómez, tepojal, pedazos de ladrillo, carbón, poliestireno, poliuretano. (54).

Las partículas de material calcáreo deben de casi no usarse para evitar cambios en el pH. Si no hay otro sustrato nada más que material calcáreo, entonces la cantidad de calcio y magnesio en la solución nutriente tendrá que ser ajustada de acuerdo a los niveles de esos elementos liberados por el agregado en la solución nutriente.

En este sistema la solución nutriente es suministrada, casi exclusivamen--

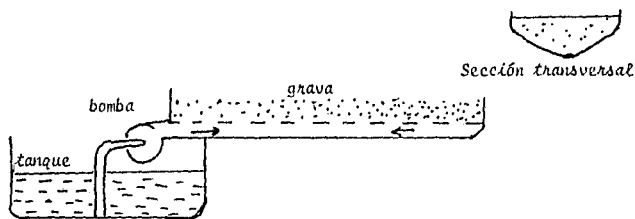
te, mediante subirrigación, es decir se aplica al fondo de la tina o recipiente y va mojando de abajo hacia arriba. Tan pronto como la solución es forzada dentro de las tinas y circulada de abajo hacia arriba, el bióxido de carbono, producto de la respiración radical, es expulsado de la grava; al drenar la solución rápidamente, el sustrato "succiona" aire nuevo, que es aprovechado por las raíces de las plantas en cultivos.

Una instalación para cultivo en grava generalmente consiste de un tanque para almacenar la solución nutritiva, unas camas de cultivo con el sustrato y una bomba con tubos ó canales para el transporte de la solución nutritiva entre las camas de cultivo y el tanque. Hay dos principios de riego, el original sistema Americano, muchas veces llamado Sub-irrigación y el sistema Holandés, llamado el sistema Filippo después de la muerte del Dr. Filippo, el descubridor de este sistema. (49,50).

Ambos sistemas tienen muchas modificaciones, pero siempre existe una diferencia fundamental; con el sistema Americano y todas sus modificaciones, la solución bombeada del tanque a las camas de cultivo solamente se mezcla y no reemplaza la solución vieja, que permanece en las partículas y en las raíces en el sustrato y con el sistema Holandés la solución nueva del tanque completamente reemplaza la solución vieja en el sustrato.

Con todos los cultivos en grava del tipo Americano, a los que pertenece -- más de 90% de las instalaciones en el mundo, la solución nutritiva entre en las camas del cultivo por el mismo tubo por el que la solución nutritiva

Figura 9. Sistema Americano para cultivo en grava.



va desagua al tanque, dejando en el sustrato una mezcla de la solución vieja, adherida a las partículas y a las raíces, y la solución fresca del tanque.

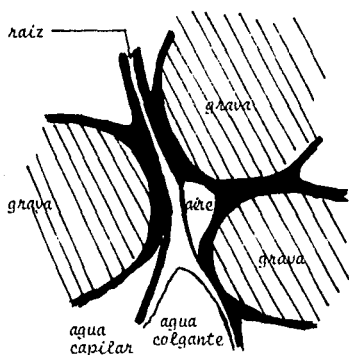
Hasta el año 1969, toda la literatura sobre cultivo sin tierra, menciona - que el suministro de oxígeno a las raíces es excelente con este tipo de cultivo en grava. Toda la literatura manifiesta que en cada riego todo el aire viejo será expulsado de la grava y durante el desague, aire fresco -- con 21% de oxígeno penetrará en la grava. Esto es verdad, pero no incluye que el suministro de oxígeno a las raíces es excelente. Aún sin la renovación del aire en el sustrato, estará cerca de 21% de oxígeno en el aire en el sustrato, porque la velocidad de difusión del oxígeno a través de la fase de aire es muy rápida. Solamente la velocidad de difusión del oxígeno a través de la fase acuosa es muy lenta. A través de la fase de aire es dos millones de veces más rápida que a través de la fase acuosa. Así en realidad, no es la fase de aire que forma el efecto de cuello de botella para el suministro de oxígeno, sino la fase acuosa.

Después de cada riego una película de solución nutritiva permanece adherida a las raíces y la solución puede llenar aún completamente los poros entre las partículas donde las raíces se encuentran, especialmente cuando se han usado partículas pequeñas. Así no se tiene que regar para refrescar el aire en el sustrato, sino para refrescar en oxígeno en la solución nutritiva alrededor de las raíces. (12).

En el original Sistema Americano, la solución nutritiva misma nunca ha sido aireada en el tanque ó durante el transporte entre el tanque y las camas. Como se puede ver en la figura 9, la solución nutritiva circula en un sistema cerrado. El resultado es que la solución nutritiva alrededor de las raíces será más ó menos anaerobia. La difusión de oxígeno del aire a través de capa fina de la solución alrededor de las raíces puede ser olvidada. El resultado es una falta de oxígeno que ha sido la causa de muchos fracasos en cultivo en grava. Sin embargo si la solución está bien aireada en el tanque ó durante el transporte a las camas, la solución bien aireada entra en las camas, solamente será mezclada con la solución vieja en el sustrato, la cual es más ó menos anaerobia.



Figura 10.- La fase acuosa en el sustrato es el cuello de botella para el transporte de oxígeno a las raíces.



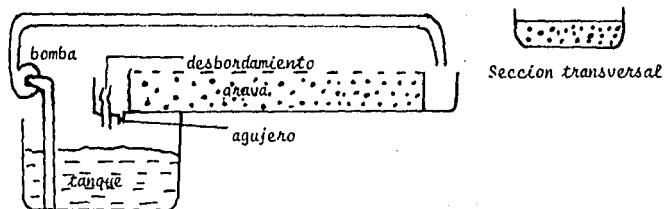
Con el sistema Filippo (fig. - 11) la solución también es bombeada del tanque a las camas, pero aquí está forzada para fluir a través de la cama y regresar al tanque ya durante el riego mismo. La solución nutritiva entra a la cama de cultivo mediante una caída libre para aireación. No hay ni tubo, ni nada semejante en el fondo de la cama. Después la solución está forzada para correr a través de la grava misma. Suponiendo que equis litros entran a la cama cada minuto. La solución fluye así al lado opuesto de la cama, y allí está un agujero que drena directamente media equis por

minuto al tanque, otra vez con una caída libre para aireación. Los otros media equis litros por minuto llenan la cama de cultivo hasta que el nivel alcance el desbordamiento, donde la solución vuelve al tanque, otra vez con una caída libre para aireación. Antes de que el emplazamiento y refresco total de toda la solución vieja por solución fresca en el sustrato ha sido asegurado, el riego no estará parado, y después la solución fresca en la cama está permitiendo el desague al tanque por el agujero, solamente dejando solución fresca bien aireada como agua adherida en el sustrato. (40) No hay objeción de regar 15 minutos o media hora más que lo indicado para llenar la cama, siempre que la solución misma esté bien aireada. Durante el riego la situación es como en un buen cultivo en agua, como se escribió antes.

Este sistema de Filippo trabaja excelente en una instalación pequeña. Con camas más largas hay dificultades, debidas a la gran resistencia que la grava ofrece a la corriente de agua.

Muchos autores coinciden en que regar frecuentemente es lo mejor, especialmente con sustratos porosos, como por ejemplo lava, riegos menos frecuentes da limitaciones a medida que el período entre dos riegos sea más largo. Esto podría parecer extraño, pero la causa

Figura 11.- El sistema Holandés para el cultivo en grava (sistema Filippo)



puede ser explicada. Después de algunas horas la mayoría de oxígeno en la solución adherida a las raíces, será consumida. Ahora la película alrededor de las raíces llegará a ser más delgada por el consumo de agua por las raíces. No obstante con sustratos no porosos el grueso no disminuirá mucho, porque hay un equilibrio muy fuerte entre la película de solución alrededor de las raíces y alrededor de las partículas porosas del sustrato. - Esto resultará en un subsiguiente suministro de la solución adherida a las partículas a la solución alrededor de las raíces. Esta solución bien aireada dará algún suministro de oxígeno, pero las raíces necesitan mucho -- más oxígeno que está presente en la solución corriendo hacia las raíces y la película en los alrededores de las raíces todavía queda demasiado gruesa para la suficiente difusión de oxígeno del aire a las raíces. [54] [69] Con un sustrato con partículas porosas se tiene un mecanismo completamente diferente. Allí solamente está muy poca solución adherida alrededor del exterior de las partículas porosas. Esto da un equilibrio completamente diferente con la solución adherida alrededor de las raíces que con particu

las no porosas. En el comienzo, directamente después de un riego, no será suministrada ninguna solución dentro de las partículas porosas a la película alrededor de las raíces y esta película realmente gradualmente será más delgada por el consumo de agua por las raíces. Cuanto más delgada la película alrededor de las raíces, más oxígeno será transportado por difusión del aire a las raíces. No obstante; algunas horas después del riego existe un período crítico.

Esto es cuando la mayoría de oxígeno en la película alrededor de las raíces ha sido consumido y la película todavía está demasiado gruesa para la suficiente difusión de oxígeno. Después de un período más largo, la película alrededor de las raíces será tan delgada que puede ser suficiente el transporte de oxígeno por difusión a través de esta película a las raíces. No obstante, la película misma alrededor de las raíces no será consumida completamente, porque ahora el equilibrio será mantenido entre esta película y la solución en los poros de las partículas. Este equilibrio solamente tolerará una muy delgada película de solución alrededor de las raíces. En resumen se puede decir que con un sustrato compuesto de partículas porosas como lava, puede tener alguna falta de oxígeno por algún tiempo después de un riego, pero si se espera más tiempo antes de una nueva irrigación, - habrá un mejor suministro de oxígeno. Solamente se regará otra vez cuando las plantas tengan falta de agua. (14).

Para decidir qué sistema se tiene que aplicar si el de Filippo o Americano para la irrigación, se tiene que considerar: el sistema Filippo es más caro de construir porque se necesita dos tubos para el transporte de la solución nutritiva entre el tanque y las camas de cultivo, y solamente un tubo con el sistema Americano. El sistema de Filippo es muy automático y seguro. Se puede llenar las camas como por ejemplo media hora, usando --- un reloj de conexión, que da un riego durante una hora, sin ningún problema. Con el sistema Americano el riego tiene que ser parado exactamente en el momento que las camas están llenas hasta un cierto nivel. En esta conexión hay que recordar que para el desarrollo de las raíces es muy importante irrigar siempre exactamente al mismo nivel. (54,69).

Durante el riego con el sistema Filippo 50% de la solución bombeada a las camas de cultivo, directamente es drenado en el tanque, pues para llenar las camas es necesario dos veces más energía que con el sistema Americano.

Steiner considera que hay mejores resultados con el sistema Filippo si se usa un sustrato no poroso, pero, con la consecuencia que se debe regar frecuentemente. Todavía hasta hoy existen buenos resultados con el sistema Americano, usando un sustrato poroso y solamente uno o dos riegos diarios a condición que la solución misma está aireada bien en el tanque o durante su camino a las camas de cultivo. (56).

En cualquiera de los sistemas, basta con un riego al día para plantas pequeñas, conforme las plantas crecen será necesario regar dos o tres veces al día. Las plantas con mucho follaje como la lechuga, requieren riegos más frecuentes. A altas temperaturas o un viento constante se hace necesario una irrigación más frecuente. En clima caliente, en verano, se requiere de dos o tres irrigaciones al día. Cuando se irriga una vez al día, Sanchez/Escalante recomiendan se haga entre 10 y 13 horas, cuando se hacen dos riegos al día, se sugiere el primero a las 8 y 10 horas y el segundo entre 14 y 15 horas.

Si son tres o más los riegos se debe evitar regar después de las 17 horas y antes de las 7 horas para evitar posibles carencias de oxígeno a nivel radicular.

Para cualquier sistema de irrigación es necesario tener cuidado con los problemas técnicos que se puedan presentar por lo que se debe; verificar la acidez o alcalinidad tanto de la solución nutritiva como en el sustrato, en la primera es necesario mantener los rangos mencionados anteriormente para obtener óptimos resultados en el crecimiento de hortalizas. En la segunda el pH del sustrato, provocado ya sea por sustancias extrañas o porque el tipo de grava sea así por naturaleza.

Para corregir la alcalinidad se puede lavar el sustrato con agua, con una solución ácida o bien con una solución de superfosfatos. En caso de acidez, se sugiere lavar con agua, con una solución de hidróxido de potasio o con una solución de superfosfato (este caso de acidez, es poco frecuente en la práctica) (46).

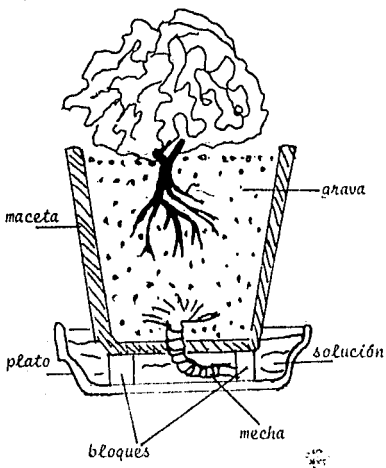
Es muy importante cuidar también en la solución nutritiva los niveles de fosfatos y fierro, ya que en un manejo adecuado del nivel de fosfatos favorece la regulación de la acidez de la solución debido a su acción estabilizadora. Cantidades excesivas de fosfatos producen precipitaciones de microelementos como fierro (55).

MÉTODOS EN PEQUEÑA ESCALA.

Irrigación por capilaridad; se han realizado diseños de este tipo ocasional

mente y con grava fina (ver figura 12) pero, con este método se obtienen mejores resultados usando agregados como arena o perlita, la irrigación capilar con grava casi no se utiliza en la práctica.

Figura: 12



Riego por gravedad con cubeta; este método es muy semejante al de sub-irrigación en pequeña escala bajo cultivo en agregado (ver figura 13) la diferencia básica está en que el recipiente que contiene la solución debe tener proporcionalmente más capacidad (--- aproximadamente la mitad del volumen de la tina), debido a que la grava deja más espacios libres y no absorbe la solución nutritiva (36).

Figura 13.- Riego por gravedad con cubeta.



Irrigación mediante aire comprimido; se usa para experimentos y trabajos de laboratorio principalmente porque el costo es relativamente caro para instalaciones caseras.

En la figura 14 se muestra mediante el esquema lo que podría ser un diseño de este método.

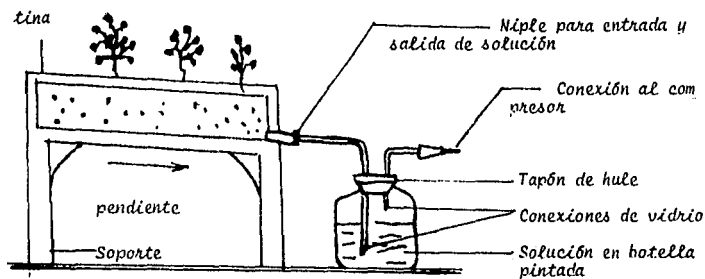


Figura 14. Diseño de un cultivo en grava mediante irrigación con aire comprimido. Hellis [29].

La tina puede ser de madera, asbesto, metal, plástico, etc. Va conectada a través de un niple, con un tubo o manguera de hule flexible a una botella grande de vidrio (cubierto o pintado de negro para evitar el crecimiento de algas) que es la que actúa como depósito de solución. La manguerita de hule se conecta a un tubito de vidrio, mismo que atraviesa el tapón de hule de la botella y llega casi hasta el fondo de esta última.

El compresor de aire, con una válvula reguladora de presión, integrada -- también, se conecta a través de una manguera de hule a un tubito de vidrio que también atraviesa el tapón de hule de la botella, pero no llega a tocar el líquido. [41,46].

Por lo regular son varias botellas que se conectan al mismo compresor, -- existe una manguera principal a la que se le acoplan conexiones en forma de T para conectar las mangueras de hule que van hacia las botellas.

Los tubitos de vidrio y manguera de plástico, que entran y salen de las botellas normalmente miden entre 0.8 y 1.25 cm de diámetro, con lo que se logra un riego y un drenaje bastante eficiente. La botella tendrá una capacidad en función principal con el volumen de la tina. Según Sanchez/--- Escalante para una tina de 90 cm de largo, 60 cm de ancho y 15 cm de alto,

necesita una botella de unos 20 litros de capacidad. (36).

#### EVALUACION DEL CULTIVO EN GRAVA EN RELACION A OTROS CULTIVOS HIDROPONICOS. VENTAJAS.

**AUTOMATIZACION:** La sub-irrigación en grava (sistema americano) favorece - la implantación de mecanismos del control automático más fácil.

**COSTO:** es menor en consecuencia directa de la planeación del diseño y de la reducción de la mano de obra originada por la automatización.

**ECONOMIA EN NUTRIENTES:** la solución nutritiva se puede usar durante periodos relativamente largos de tiempo siempre y cuando el nivel de pH no se exceda de lo indicado.

**ESTERILIZACION:** es fácil de esterilizar la grava, ya que es un material - que se presta para esta esterilización química tales como; formaldehído, - bromuro de metilo, agua oxigenada. etc.

**CONTROL DE PLAGAS:** muchos gusanos son fáciles de combatir inundando las - tinas con solución, durante una hora aproximadamente; así los gusanos se - mueven en la solución (superficie), de donde se sacan o destruyen fácilmente.

**VOLUMEN DE LA SOLUCION:** bajo condiciones de lluvia y a cielo abierto, se - controla mejor que en los métodos de cultivo en agregado. (33,41).

#### DESVENTAJAS.

LA ESTERILIZACION con vapor no es satisfactoria.

**COSTO:** en construcción y equipo, ya que se tiene que construir tinas y -- grandes depósitos impermeables, en bombas de mayor capacidad, en tuberías, válvulas, relojes automatizados. Claro está que a pequeña escala su costo es más reducido que a nivel comercial.

**SE REQUIERE DE UNA MAYOR HABILIDAD:** técnica y conocimientos de química y fisiología vegetal.

**CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO:** extremos de acuerdo con la temperatura ambiental, la grava posee una alta conductividad térmica, en clima cálido y

con el sol de mediodía, se calienta tanto, que llega a producir quemaduras en los tallos y hojas de las plantas (esto es más frecuente en grava color oscuro), durante las noches frías, se puede enfriar tanto afectando las raíces dando como resultado que el crecimiento óptimo de la planta se afecte.

#### RECOMENDACIONES Y APLICACIONES.

Según Pennigsfeld y Kurzman (40) el límite de rentabilidad en este método es arriba de los 100 m<sup>2</sup> de superficie de cultivo; mencionando que el cultivo en grava es adecuado para instalaciones grandes y con propósitos comerciales.

De acuerdo con Ellis y Swane dicen que para tener un éxito comercial bajo cultivo en grava se debe seleccionar adecuadamente la clase y variedad de plantas, además poseer los conocimientos necesarios de química y fisiología, de lo contrario la cosecha no será satisfactoria. (17).

Este cultivo no es adecuado para principiantes, hay que tener experiencia previa en hidroponía.

Va se mencionó con anterioridad que este método de cultivo es adecuado para la experimentación, investigación y enseñanza sobre todo de la fisiología vegetal aplicada. (8).

Este cultivo a escala comercial es el que mas difusión ha tenido a nivel mundial, sobre todo en Israel y Estados Unidos.

Cuando se trate de un cultivo a pequeña escala, resultará adecuado emplear recipientes de metal, de barro o de cristal. En cultivo en grava pueden usarse lechos de tierra, tiestos, cestas o canastas; sin embargo como no son impermeables, siempre se pierde algo de solución. Los materiales metálicos deben pintarse por dentro con pintura de asfalto, mientras que los de cristal deben pintarse en el exterior con alguna pintura oscura.

Para evitar acumulación de minerales, será necesario que cada dos semanas se impregne al material agua, la cual se drenará para que los minerales -- fluyan con ella.

El método más sencillo y económico para añadir la solución nutritiva es superficial. En pequeña escala, consiste en vaciar manualmente la solución sobre el material. (17,58).

No se debe emplear la solución nutritiva por más de dos semanas, ya que -- por períodos mayores, se generan sales e residuos de fertilizantes que perjudican a las plantas.



Es conveniente probar la grava con ácido para determinar si posee un elevado contenido de cal, ésta hervirá al vertirse ácido clorhídrico. [46].

#### CULTIVO EN ARENA:

Es una costumbre llamar a todos los hidropónicos con sustratos inorgánicos no degradables como el cultivo en arena "agregado", cuando las partículas son más pequeñas de tres milímetros y como ya se dijo, cultivo en grava cuando las partículas son mayores de 3 milímetros, independiente de la composición material de las partículas. Por lo que la "grava" y la "arena" no consistirá explícitamente de sílica. Las partículas también pueden ser de plástico, lava, arcilla expandida (como la usan en el caso de las Canarias), solamente consiste en partículas redondas o angulares pero en ningún caso de partículas degradables. El límite de tres milímetros para grava o arena no es límite exacto. La principal diferencia es que con grava los poros entre las partículas tienen que ser tan grandes que sea posible la circulación de la solución nutritiva, de forma relativamente rápida a través del sustrato en una dirección horizontal; con cultivos en arena los poros son demasiado pequeños para cualquier transporte rápido. Otra diferencia típica es que dentro de una hora después de un riego completo en el cultivo en grava por lo menos el 15% debe ser espacio llenado por aire, mientras, en el sustrato en arena este será de menos del 15%. La arena que se utilice para hidroponía no debe contener sustancias tóxicas para la planta. La manera más rápida de comprobar esto, es haciendo germinar unas cuantas semillas en una pequeña muestra de arena humedecida con agua, si las plántulas son saludables la arena es adecuada. También se debe evitar las arenas contaminadas con materia orgánica o fango, ya que esto favorece la aparición de enfermedades.

Hay arenas con gran cantidad de cal (más del 20%) lo que trae como consecuencia elevar el pH de la solución nutritiva y la desventaja de fijar el fósforo dando efectos negativos al desarrollo de la planta.

La misma prueba que se hace en grava se hace aquí; para determinar si la arena posee o no material calcáreo.

En el caso de que la arena sea caliza se efectúa el tratamiento siguiente; se lava la arena con una solución concentrada de superfosfato (aproximadamente 200 ppm de P) durante 24 horas con el objeto de inactivar la caliza, para evitar que reaccione con la solución nutritiva durante algunos meses.

Después de las 24 horas se llena un frasco hasta la mitad con la muestra de la arena y se añade agua destilada hasta llenar el frasco; se deja varias horas y luego se toma el pH del agua. Si el valor del pH es de 7 o menos ya no habrá necesidad de otro lavado, pero si es alcalino, será necesario otra aplicación de superfosfato. Esto se repite hasta que la arena quede ligeramente ácida. (26, 36, 39, 51).

**VERMICULITA:** es un silicato de aluminio con la estructura de la mica, con tiene además magnesio y hierro. Su estructura está constituida por estratos paralelos que encierran moléculas de agua. Cuando este material se calienta a una temperatura de 1000° el agua se evapora, lo que hace expandir la vermiculita endonde alcanza de seis a doce veces su volúmen original. Queda un producto de color dorado, estéril, ligero con alta absorbencia -- (cuatro veces su peso en agua) y excelente aireación, debido a la expan---sión. Es un material aislante que se mantiene caliente en invierno y fresco en verano.

Estas características hacen pensar que la vermiculita es un excelente sustrato, pero tiene algunas desventajas que se deben de tomar en cuenta: retiene demasiada humedad en climas templados y lluviosos, sus partículas se desmenuzan poco a poco por lo que la aireación y el drenaje son cada vez -- menos eficientes y su precio es elevado.

La vermiculita es recomendable para lugares de clima cálido-seco, debido a su gran absorbencia y a su propiedad aislante que favorece el crecimiento de las plantas; para lugares en donde el costo de este sustrato sea bajo y para cultivar en pequeña escala. (4, 5).

**ASERRIN:** Este material posee propiedades y aplicaciones similares a la -- vermiculita, por lo que se mencionó antes es válido para este caso; solo que deberá garantizarse su esterilidad y tomarse en cuenta la posibilidad de que estén presentes resinas fitotóxicas provenientes de ciertas made---ras. (48).

**PERLITA:** Material volcánico natural con propiedades semejantes a la -- arena. La perlita puede ser utilizada como sustrato hidropónico, una vez cribaday calentada aproximadamente a una temperatura de 1000° C, con esto se -- expande y forma un material blanco o grisáceo de baja densidad, completa---mente estéril y con excelentes propiedades de retención de humedad a la -- vez que se logra una buena aireación. En México se conoce como agrolita --

a la perlita así tratada. En agua destilada posee un pH neutro. (46).

Estos materiales también se le conoce como cultivo en agregado, el nombre es convencional y solo tiene por objeto simplificar el estudio de los métodos hidropónicos que utilizan sustratos absorbentes.

#### MÉTODOS EN PEQUEÑA ESCALA.

Hay una gran variedad de diseños la diferencia se basa en la forma en que la solución nutritiva es aplicada.

IRRIGACION SUPERFICIAL: aquí la solución se aplica directamente a la superficie del agregado.

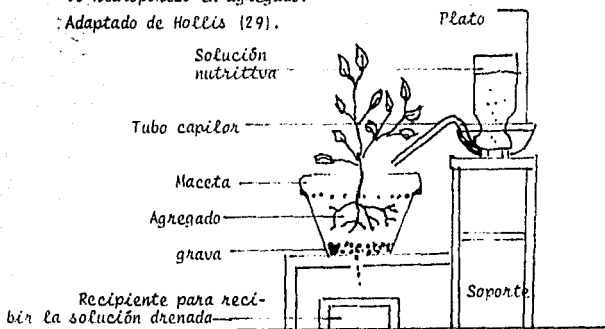
Hay una amplia variedad de diseños caseros y a nivel laboratorio basados en este método de irrigación: macetas, cajones y pequeños recipientes de diferentes formas y materiales; como madera, vidrio, metal, barro, polietileno, cartón forrado con polietileno, etc. No importa el diseño que se emplee, lo esencial es proveer al recipiente con un sistema de drenaje eficiente. Los orificios del drenaje, generalmente se localizan en el fondo del recipiente, por lo que deben cubrirse con un filtro (tela de fibra de vidrio, tela de mosquitero de plástico, nylon, etc.) para evitar que el agregado caiga del mismo (33,46).

Es recomendable llenar el recipiente como sigue: primero, colocar una capa de grava de 3 a 6 de espesor en el fondo y segundo, añadir una capa de agregado de 15 a 20 cm de espesor.

Existe una gran variedad de recipientes para almacenar la solución nutritiva como: botellas de vidrio (opacas o pintadas de negro), cubetas o botes de plástico o lámina galvanizada (asfaltada por dentro), tambos de 50, 100 y 200 litros (también asfaltados o forrados con polietileno por dentro, etc.). El riego se puede realizar con una regadera o cubeta con pequeños orificios en la base o también usarse un tubo o manguera. La solución nutritiva generalmente no se recircula por lo que los recipientes no tienen que ser impermeables; sólo hay que evitar que sus paredes interiores reaccionen con la solución ya que se puede alterar la composición de esta última.

La figura 15, muestra un diseño basado en el método de irrigación superficial, propio para cultivos de hortalizas o plantas ornamentales en el hogar o laboratorio. En este se permite recircular la solución nutritiva siempre y cuando se revise constantemente el pH. (33).

Figura 15. En un diseño casero de irrigación por goteo para cultivo hidropónico en agregado.  
Adaptado de Hollis (29).



IRRIGACION POR GOTEO : en este método el equipo es semejante al anterior, - excepto en el mecanismo de riego, aquí es un sistema automático para gotear - la solución nutritiva. (41).

Casi siempre se usa un recipiente de plástico, vidrio (opaco o pintada de negro), o lámina impermeabilizada como depósito de la solución. A este recipiente se le conecta una manguera de plástico o hule, o un tubo capilar de vidrio de modo que se haga un sifón para forzar el goteo. Cuando se utiliza un tubo capilar el goteo se gradúa inclinando en mayor o menor medida el extremo que gotea; mientras que si se usan mangueras pequeñas de plástico el goteo se puede graduar presionándolas con laminitas dobladas o con dispositivos para apretarlas, como los de los equipos para aplicar sueros. (46).

El agregado debe ser lavado y plantado antes de iniciar el riego por goteo. Usualmente la solución no se recupera, pero en caso de que se recirculara -- puede usarse de quince a veintidós días, teniendo cuidado de reemplazar la solución evaporada y transpirada con agua sola para evitar que aquella se concentre demasiado; es decir, el recipiente de abastecimiento deberá exhibir, cada vez que sea rellenado, el mismo volumen de líquido.

La dosis de aplicación varía con el tipo y tamaño de la planta, con las condiciones climáticas y con el tipo de agregado que se utilice; generalmente - varía entre medio y dos litros de solución diariamente y, hasta cuatro litros diarios en lugares con altas temperaturas e insolación.

Cada quince días o cada vez que la solución se cambie, se recomienda lavar el agregado para evitar acumulación de sales.

La figura 15 muestra un diseño de irrigación por goteo para instalaciones pequeñas.

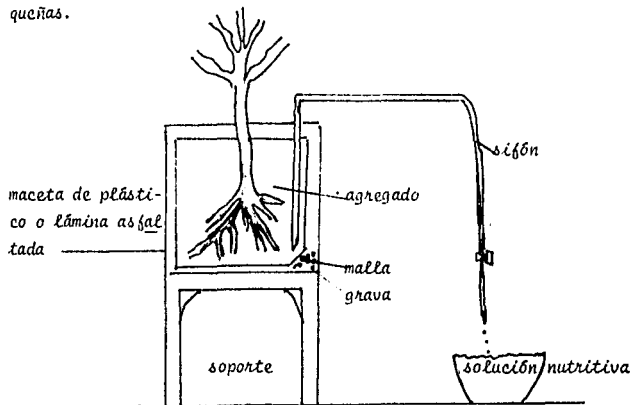


Figura 16. Diseño de recipiente con drenaje a través de sifón automático para cultivo en agregado con irrigación superficial. El sifón funciona inmediatamente después del succionamiento inicial. Adaptado de Ellis y Swaney

**SUB-IRRIGACION:** Existen una gama grande de diseños para la sub-irrigación del agregado tanto a pequeña como a gran escala. Uno de los más comunes para cultivo en pequeña escala o con propósitos de investigación es el que se muestra en la figura 17.

La tina se construye generalmente de madera o lámina asfaltada o forrada con polietileno. Los nipples en los que se ajusta la manguera son usualmente de cobre. El nipple que va conectado a la tina debe ir colocado en la parte más baja de la misma para que el drenaje sea completo. Inmediatamente antes de sembrar se satura de agregado con agua (o con solución nutritiva) y después se abre el drenaje para dejar escurrir el agua sobrante. Posteriormente se siembra y se aplica la solución normalmente de acuerdo a las consideraciones mencionadas anteriormente al referirse a las "aplicaciones de la solución".

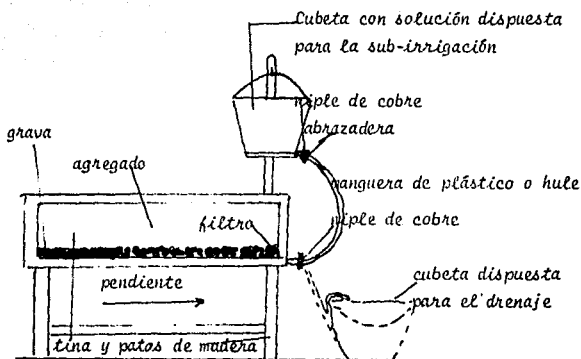


Figura 17. Diseño por sub-irrigación en cultivo en agregado. Modificado de Douglas (13).

Para regar, la cubeta o recipiente debe colocarse a mayor altura que la tina y para drenar se baja a menor altura. Para regar por sub-irrigación un metro cuadrado de superficie cultivable de 20 cm de profundidad y dependiendo del agregado, se requiere entre 15 y 25 litros de solución. Conforme la solución se va evaporando se debe añadir agua (y no solución) hasta restaurar el nivel inicial señalado ya que, de otro modo, la concentración de sales podría alcanzar niveles de toxicidad, como ya se mencionó (36).

Una de las ventajas de el método por sub-irrigación es mantener seca la superficie del agregado, lo que dificulta de incidencia de enfermedades, sobre todo las fungosas; además se opera con un recipiente para suministrar la solución de mucho menor tamaño que para el mismo método pero usando como sustrato la grava. Sánchez y Escalante diseñaron un sistema basado en este tipo de irrigación para implementar un huerto familiar, de tal manera que en un pequeño invernadero, de menos de 20 m<sup>2</sup> ha sido posible cultivar más de 15 especies de hortalizas para el consumo continuo de una familia de cuatro personas, a menor costo y con más calidad que en el mercado. El sistema funciona de tal manera que cada 15 días se cosecha cada especie y en su lugar se vuelve a sembrar inmediatamente la misma. (46).

**IRRIGACIÓN POR CAPILARIDAD:** generalmente este método es usado para instalaciones caseras. Se usa una mecha de lampara de alcohol o petróleo para conducir la solución al agregado, o la mecha se puede elaborar enrollando tramos de tela mercerizada con propiedades capilares. El recipiente que contiene la solución puede ser de cualquier material impermeable o impermeabilizado de tal manera que no reaccione químicamente con ella; puede tener capilaridad para una maceta, o varias dispuestas en fila. La maceta que contiene el agregado se puede sostener con otra maceta vacía colocada boca abajo de tal manera que se deje un espacio de dos o tres centímetros entre la solución y el agregado. La mecha pasa del recipiente con la solución a la maceta, con el agregado a través de los orificios de drenaje de las dos macetas. La parte superior de la mecha se desenreda y distribuye entre el agregado para favorecer el humedecimiento adecuado del mismo. La solución puede permanecer en el recipiente por dos o tres semanas antes de reemplazarse. El agregado se debe lavar con agua cada vez que la solución se cambia para evitar la excesiva acumulación de sales en el mismo. [36].

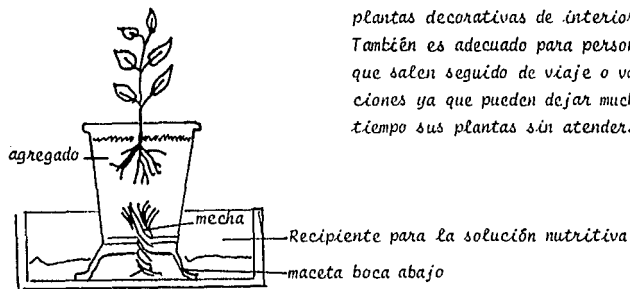


Figura 18. Diseño casero de irrigación por capilaridad en agregado. Hollis. (29).

**METODO DE EL CUBO Y ALIMENTACION POR GRAVEDAD :** Este método es usado en New Jersey, el cual está basado en el cultivo en arena. Esta formado de un recipiente que contenga la solución nutritiva conectado a la unidad hidropónica y a su vez hecha la conexión por una manguera. La manguera va desde el fondo del recipiente hasta la base de uno de los lados de las paredes de la unidad que soporta a las plantas. La solución correrá así abajo a través de la manguera en el agregado, llegando a las raíces. Cuando el total de la solución está fuera del recipiente que contiene la solución nutritiva, este, es retirado de su lugar inicial y puesto en el extremo de la unidad de cultivo; en el suelo. Al abrir la llave el exceso de solución correrá por la unidad hasta caer en el recipiente -- que se colocará al final de la unidad, de esta manera la solución puede volver a usarse. Este método es barato y de los más sencillos y efectivos llegando a ser uno de los métodos a pequeña escala de los más recomendados. (33,36).

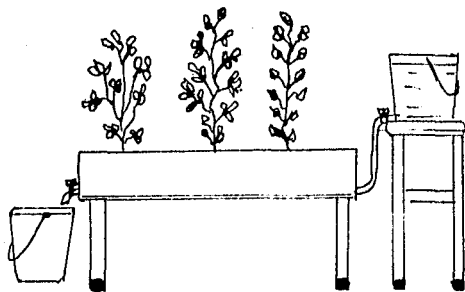


Figura: 19

Un ejemplo de este método de el cubo y gravedad es el que se muestra en la figura 19. En este caso el cubo o recipiente donde contiene la solución nutritiva se le ha dado una posición permanente; existiendo otro cubo abajo de la unidad.



Una llave es colocada en el fondo del recipiente contenedor y otra al final de la unidad del cultivo. El cubo contenedor puede ser abierto para permitir que la solución drene fuera de la unidad y ser recibida en un segundo cubo de plástico. La manguera lleva desde el cubo contenedor la solución hasta la unidad, pudiendo cerrarse para prevenir que la solución fluya dentro de la unidad cuando no es deseado. Otra variante de este método es que el cubo se le pone una manguera unida y sellada en las articulaciones siendo conectada a la cama o unidad de crecimiento. Se levanta el cubo sobre la cama permitiendo que la solución nutritiva fluya por caída libre debido a la gravedad de la solución dentro de la cama. Después de media hora, se cambia el cubo al suelo, así otra vez por gravedad la solución se drenará y se podrá utilizar otra vez.

La cama de crecimiento debe estar sobre una mesa o estante que permita mover el cubo a una distancia propia sobre y bajo el tanque. Se debe estar seguro que la medida del cubo sea adecuada para inundar el sistema del tanque.

Se debe estar seguro que la medida del cubo sea adecuada, lo suficiente para inundar el sistema del tanque. (41).

Otra manera de construir su propio sistema basado en el método anterior, del cubo y aprovechando la gravedad, es el siguiente; probablemente el más simple: usando madera laminada de casi dos centímetros de grosor para hacer una caja de 18 cm de profundidad, 40 cm de ancho y 60 cm de largo (o de otras medidas) asegurando la caja con tornillos de madera u otro material que no se descomponga el contacto con la solución nutritiva. La caja también puede ser de otro material como por ejemplo plástico. (36).

Se le hace dos perforaciones a la caja a 1.25 cm de una de las paredes y 1.25 cm del fondo del interior.

Se forra el interior de la caja con polietileno o fibra de vidrio y dos tapones adecuados que sean fácil de quitar y poner. En el lado opuesto a los tapones del desagüe a unos 2.54 cm, se le pone una cuña a la base; asegurando un adecuado drenaje. Ver figura. 20.

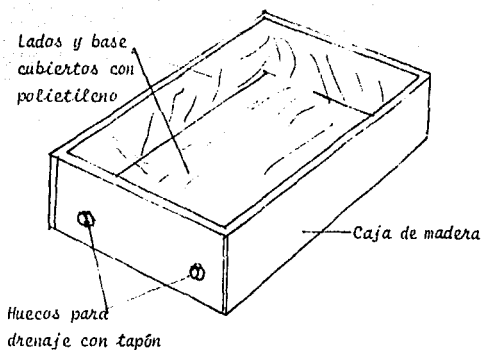


Figura 20. Una caja de madera con polietileno es el sistema hidropónico más sencillo.

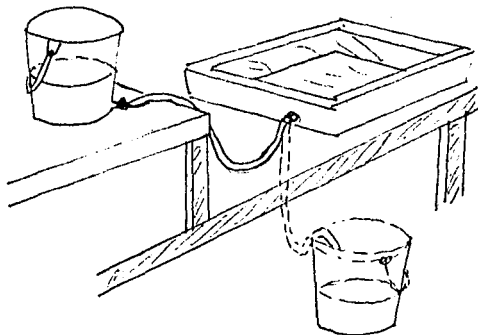


Figura 21. Sistema con operación manual usando un cubo y un tanque.

Un cubo unido con una manguera y sellada en las articulaciones es conectada a una cama de crecimiento. El cubo es puesto más arriba que el tanque para aprovechar la caída libre, permitiendo la alimentación de la cama con la solución nutritiva. Después de 30 minutos se pone la cubeta o cubo en el --

suelo, así por gravedad drenará la solución de nuevo. La cama de crecimiento o tanque deberá estar sobre un estante, enseguida una cubeta movable a una distancia propia que quede sobre y abajo del tanque. Hay que asegurar que la medida de la cubeta sea la adecuada para inundar el sistema. Ver figura 21.

Una versión más automatizada de la anterior sería con dos tanques. Se construye otro tanque adicional, del mismo material que el primero, pero si puede hacersele una tapa para que quede cubierto el segundo tanque es mejor. Hay que tener cuidado de que los tanques estén juntos para su máxima eficiencia. Como se muestra en la figura 22. (36).

Se usa una pequeña bomba dentro de la solución nutritiva. La bomba para acuario es adecuada para este propósito ya que forzará la solución a entrar a la cama de crecimiento. En este caso se pondrá la bomba a funcionar durante 30 minutos unas tres a seis veces al día.

En los dos últimos sistemas solo es necesario una perforación en la cama de crecimiento y es ajustada con una válvula con un hueco para regregar la solución nutritiva.

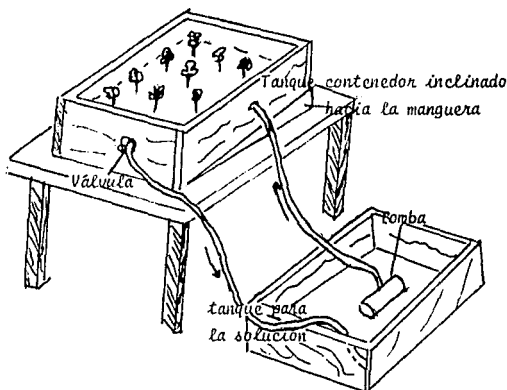


Figura 22. Dos tanques son usados en la versión automatizada del sistema - mostrado en la figura 21.

Existe otra variante del método en agregado, el cual ha sido en los últimos años de los más exitosos en varios experimentos y es el de largas bolsas de

(plástico) polietileno. Las bolsas han sido rellenas con cualquiera de los agregados ya mencionados arena, carbón, aserrín, etc. Las bolsas fueron puestas sobre el suelo, haciéndoles hoyos en la superficie exterior de la bolsa e insertadas plantas en los huecos. La idea es que las raíces se expandan dentro del agregado, a la vez que el tallo y las hojas se desarrollen fuera y alrededor de los huecos. La solución nutritiva es vertida dentro de la bolsa en una cantidad suficiente y a intervalos regulares tal que el agregado debe mantenerse húmedo pero no inundado. Como se puede observar en la figura 23.

Las hojas de polietileno pueden ser usadas para hacer un mini-sistema hidropónico fuera de casa o cualquier lugar. El polietileno es cortado de tal manera para hacer cilindros del diámetro y altura que se desee. El plástico es enrollado en forma de tubo y puesto sobre un terreno, que tenga una ligera pendiente. En la actualidad ya no es necesario hacer esto, puesto que comercialmente se puede lograr, existiendo varios lugares donde se pueden conseguir los cilindros ya fabricados de cualquier medida. (67).



1. Tubo distribuidor
2. Gancho
3. Cuerda para el gancho
4. Pequeño tubo distribuidor
5. Bolsa polietileno
6. Crisficios
7. Crisficio de drenaje
8. Sustrato.

Figura 23. Cultivo en bolsas de polietileno vista de frente y por la parte superior.

Por lo largo de cada cilindro, a intervalos irregulares (en zig-zag) se hacen perforaciones para insertar delicadamente las plantas. Este sistema a escala comercial, la solución nutritiva se bombea dentro de la bolsa a través de un tubo individual, fluyendo sobre las raíces de las plantas y reuniéndolas en un depósito excavado abajo en la parte final de cada hilera de cilindros. Se hacen varias hileras ordenadas paralelamente de uno a otro lado de la pendiente. Una bomba colocada a lo alto de la pendiente es usada para mandar la solución nutritiva por los pasejes que conectan a cada una de las hileras. Otra bomba es usada para sacar la solución nutritiva que escurre de los cilindros y regresarla al depósito, tal que pueda ser recirculada. (64,67).

Este sistema requiere de un amplio espacio -

de suelo para ser económicamente provechoso. Una variante, que economiza este sistema, es el de quitar la bomba y hacer la alimentación manualmente y colocando en la parte inferior de cada cilindro un recipiente para recuperar la solución nutritiva. En este caso los cilindros no estarían muy cerca del suelo.

Resh, menciona en su libro "Hidroponic Food Production", este sistema más específicamente en donde él usa bolsas de polietileno negro de 15 milímetros de calibre (calibre 80 en México), de 15 cm. de diámetro y dos metros de largo, llenadas con una mezcla de musgo-vermiculita. El fondo de la base es amarrado para prevenir que el sustrato caiga y la parte de arriba de la bolsa también es atada para apretar el sustrato dándole una forma como de salchicha. Para sostenerlo por la parte de arriba se hace con un alambre o cuerda, a el invernadero (o cualquier otra parte donde quede firme) y colgadas las bolsas dando un efecto de columnas. (41).

El riego y alimentación es automatizado por el uso de un sistema de goteo mediante un tubo en forma de espagueti a cada bolsa desde un depósito central de solución nutritiva o un inyector de fertilizante.

Pequeños huecos de tres a cuatro centímetros de diámetro son cortados alrededor de la periferia de la bolsa en las cuales las plantas son colocadas (como lo muestra la figura 24). La solución nutritiva es aplicada por la parte de arriba de la bolsa y drena hacia abajo a través de la bolsa totalmente.

Las bolsas son colocadas a una distancia de 80 cm una de otra y en hileras de 1.20 cm de distancia.

Los ciclos de riego a alimentación son generalmente de dos a cinco minutos, dando un volumen de dos litros de solución nutritiva por bolsa por ciclo de irrigación. Los nutrientes no son reciclados pero se permite al filtrado fluir desde arriba hasta el fondo de la bolsa y también drene afuera por los huecos. Una vez almes el sistema debe hacersele fluir agua pura para quitar cualquier acumulación de sales. Al final de cada periodo de desarrollo, la bolsa entera y el sustrato se debe vaciar y volver a esterilizar el

sustrato con el fin de usarlo para otro cultivo otra vez. (6467).

Este sistema es particularmente usado para lechuga, acelga y fresa los cuales normalmente requieren de una área grande en los invernaderos y con el sistema de bolsas se utiliza menor espacio (mejor conocido este sistema como cultivo en vertical). Se ha probado, con grandes rendimientos, otros vegetales como tomate, jitomate, pepino, chile pimiento, berengena, coliflor, chile. En Italia, cultivan cerca de ocho hectáreas, usando cultivo en bolsas de polietileno en invernaderos. Cultivan principalmente fresas, pero han experimentado con otros productos. Han desarrollado un "cerebro electrónico", el cual es programado automáticamente nutriendo el total del complejo de 8 hectáreas; el cual es dividido en 32 secciones, cada una de ellas cubre una área de 2500 m<sup>2</sup>. Los controles del cerebro electrónico sincronizan los ciclos de irrigación según las condiciones del ambiente y la etapa de desarrollo de la planta. (71).



Figura 24. Esquema del sistema de cultivo en bolsa "colgante".

El costo total del sistema, incluyendo la construcción metálica del invernadero, calefacción, sistema de irrigación y cerebro electrónico, ha sido moderado y el valor total de la operación es sustancialmente reducido, por la eficiencia de los espacios verticales dentro de invernaderos y además de la reducción de la mano de obra. Aunque lo anteriormente mencionado es trabajado para escala comercial, creo conveniente mencionarlo ya que puede utilizarse en casas o apartamentos, haciendo algunas modificaciones sobre todo el de eliminar el cerebro electrónico y hacer el riego y alimentación en forma ma-

nual, este sistema se puede tener en una área pequeña logrando tener una -- gran variedad de hortalizas.

Dentro de las técnicas de agregado esta la Técnica de Cultivo en Macetas de Bentley (Bentley Containers System).

Esta técnica fue desarrollada por el Dr. Maxweel Bentley, publicada por primera vez en 1974, en su libro *Hydroponics Plus*, el cuál menciona uno de los métodos más baratos con muy buenos resultados.

Bentley en vez de tinas utiliza macetas de polietileno negro y grueso, rellenas con un sustrato especial, en donde crecen plantas (generalmente grandes como jitomate y pepino). Las bolsas se sostienen por ladrillos huecos de hormigón, de las cavidades se rellenan también con sustrato permitiendo el crecimiento de plantas más pequeñas (lechuga por ejemplo). (4,5).

El sustrato que Bentley propone es una mezcla homogénea de los siguientes materiales:

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Vermiculita                  | 1.6 m <sup>3</sup> |
| Turba vegetal (Peat-moss)    | 1.2 m <sup>3</sup> |
| Arena de río lavada y limpia | 0.8 m <sup>3</sup> |
| Carbón vegetal de 3 a 6 mm   | 0.4 m <sup>3</sup> |

A esta mezcla se le agrega en seco y se le mezclan profundamente los siguientes fertilizantes.

|                     |      |
|---------------------|------|
| Veso                | 7 Kg |
| Superfosfato simple | 2 Kg |

Finalmente se añaden a la mezcla, disueltos en 60 litros de agua, los siguientes fertilizantes:

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Nitrato de potasio                 | 2 Kg   |
| Sulfato de magnesio (sal de Epsom) | 453 gr |
| Quelatos de fierro (sequestrene)   | 57 gr  |
| Bórax                              | 28 gr  |

Esta mezcla es suficiente para llenar 100 bolsas de polietileno de 30 cm - de diámetro por 45 cm de alto.

El llenado se efectúa de la siguiente manera:

- 1) Se hacen perforaciones pequeñas (como de 3 mm de diámetro) en la parte inferior de las bolsas, para que pueda drenar libremente la solución.
- 2) El borde superior de la bolsa (boca) se dobla hacia afuera unos 5 cm - para darle más tensión a ésta.
- 3) Se llena la bolsa con una capa de aproximadamente 10 cm de grava en la parte inferior y una capa de aproximadamente de 27 a 28 cm de la mezcla propuesta por Bentley o de algún otro tipo de agregado (ejemplo: arena con vermiculita o perlita con vermiculita).

El sistema de irrigación es parecido al riego por goteo, sólo que en lugar de goteros tienen boquillas que rocían la solución nutritiva a la superficie del agregado, a intervalos regulares de tiempo durante el cual, el reloj acciona el interruptor que prende y apaga la bomba. Por ejemplo, si se determina que a 1 maceta se le va a administrar un litro de solución al día (esto dependerá fundamentalmente de las características de las plantas y de las condiciones climáticas), se podrá administrar tres irrigaciones al día - de 333 mililitros cada una o cuatro de 250 mililitros cada una, controlada por el reloj automático.

La solución no se recupera. Cada semana se riega las macetas con agua pura para remover la acumulación de sales. Se recomienda que este riego se haga con regadera. Un diseño basado en este método fue probado, con mucho éxito por el Sr. Felipe Sánchez Roman, en una instalación hidropónica comercial - ubicada en Alpuyeca, Morelos.

Esta técnica de Bentley puede utilizarse a pequeña escala haciendo las modificaciones necesarias, en cuanto a cantidades de sustrato, número de bolsas, cantidades de nutrientes y sistema de riego, que para este caso sería manual. Estas bolsas son ideales para ponerlas cerca de las ventanas de cualquier habitación, oficina, laboratorio o balcones de casas o apartamentos.

La esterilización en este caso, puede ser no realizada, simplemente se repone cada cultivo nuevo. (4,5).

#### V E N T A J A S :

El cultivo en agregado se sugiere como base para ganar experiencia antes de intentar probar con otros sistemas hidropónicos, ya que es el sistema que - menos conocimiento técnico y experiencia previa requiere para poder ser practicado con éxito.



Hay un gran ahorro en el costo de la inversión inicial, ya que requiere -- equipo menos caro y menos instalaciones, inclusive en algunos casos en que los costos de cultivo en agregado son elevados en la instalación.

La arena es uno de los sustratos más fáciles de conseguir.

La absorción de los agregados permite métodos de riego a base de capilaridad.

#### DESVENTAJAS :

No existe un control tan estricto de los elementos nutritivos debido a que ocurre una paulatina acumulación de los mismos en el agregado.

En aquellos métodos en que no se recircula la solución hay un mayor gasto -- de fertilizantes y agua.

Algunos métodos requieren de más mano de obra que para otras categorías de cultivo en hidroponía.

En regiones lluviosas hay tendencia al anegamiento cuando se trabaja al aire libre debido a la absorbencia de los agregados; no obstante, si en drenaje es eficiente y se controla adecuadamente el suministro de la solución el problema no es muy serio.

La vermiculita y la perlita se van desintegrando con el tiempo, lo que va -- en detrimento de una adecuada aireación. Para evitar esto, se cambia el -- agregado periódicamente, dependiendo de la condición en que se encuentre el agregado (de tres a cinco años). (4,46).

#### RECOMENDACIONES Y APLICACIONES.

Este tipo de sustrato es el que más se recomienda para enraizar esquejes, -- para germinar semillas y desarrollar plántula sana.

Este es el sistema hidropónico más adecuado para toda aquella persona que -- se inicia en hidroponía, ya que la mayoría de las operaciones que se realizan son similares a las ejecutadas en un sistema de cultivo en suelo.

A comparación con el suelo en hidroponía en agregado hay que tomar algunas consideraciones como la siembra y trasplante.

SIEMBRA : la semilla se siembra en el agregado tal y como en el suelo. La profundidad es la misma o quizá ligeramente mayor que en el suelo. Dado -- que no hay competencia por nutrientes en las raíces, las plantas se pueden

sembrar, en terminos generales, a un 20% más cerca que bajo cultivo en suelo.

Se considera que la arena, perlita, vermiculita y aserrín, son ideales como en raizadores y para semilleros debido a un mejor control de la humedad.

Todos los métodos de cultivo en hidroponia anteriormente analizados se debe cuidar en ellos el clima, sobre todo al trabajarlo en pequeña y mediana escala que por lo general se cultiva en interiores de habitaciones o invernaderos.

El clima juega un papel vital en el desarrollo de la vida de las plantas pero sería impráctico y muy caro tratar de controlar las condiciones climáticas totalmente.

Los tres principales factores a considerar son; luz, temperatura y humedad; factores que pueden ser controlados a un grado adecuado para cultivo en interiores. Dando la atención apropiada el control de estos tres aspectos de finitivamente aumentarán el rendimiento del cultivo.

## L U Z

La fotosíntesis es el proceso por el cuál una planta utiliza cierta longitud de onda de un color de la luz para producir energía.

Esta energía es entonces usada por la planta como combustible para su desarrollo, es obvio que todas las plantas necesitan algo de luz diario con el objeto de sobrevivir y la ciencia nos ha demostrado que la mejor actividad fotosintética es producida cuando las longitudes de onda rojas y azules están presentes. Todas las plantas tienen diferentes necesidades de intensidad de luz. (11).

Para desarrollar plantas en hidroponia en interiores (laboratorio o invernadero) se debe usar luz artificial, porque los vegetales necesitan altos niveles de luz para desarrollar mucha cantidad de energía. Alternamente, una ventana de buen tamaño, en un laboratorio por supuesto, expuesta a una orientación sur o occidente permitirá probablemente un desarrollo de cultivos como hierbas, lechuga orejona y posiblemente jitomate sin luz artificial.

Sin embargo, esa demasiada luz solar directa a través del vidrio de la ventana se manifiesta en una cantidad desordenada de calor arruinaría el cultivo, por lo que es recomendable, para el periodo mas intenso de luz en el día, fabricar una sombra para usar durante ese corto tiempo.

Los focos, lámparas y reflectores no sólo sirven para complementar la luz solar, sino que pueden llegar a sustituirla cuando es necesario. La única condición es que la cantidad y la calidad de luz que emitan sea la requerida.

La iluminación artificial se emplea sobre todo para mantener en buen estado las plantas cuando reciben menos luz solar de la que necesitan, pero también se utiliza para acelerar su ciclo de crecimiento y desarrollo.

Existen tres tipos de lámparas o focos que pueden emplearse para el cultivo de las plantas de interior; las lámparas incandescentes, las de vapor de mercurio y los tubos fluorescentes. [11] [31].

**LAMPARAS INCANDESCENTES.** Son los focos comunes y corrientes que se usan en todas las casas. Mas de 70% de la energía que emiten se manifiesta en forma de calor. Por eso, si se colocan muy cerca de las plantas, pueden llegar a quemarlas y evaporar la solución nutritiva, pero si quedan muy alejados, la intensidad y la calidad de su luz no es suficiente para cubrir las necesidades de la planta que iluminan. Estas son las razones por las que los focos incandescentes se usan más para obtener efectos decorativos que como instrumentos de cultivo, aunque su empleo pueda favorecer en cierta medida el desarrollo de las plantas. [11].

Los reflectores hechos a base de focos incandescentes resultan más eficaces ya que concentran la luz emitida. Pueden emplearse como complemento de la luz solar durante el invierno o para acelerar el desarrollo de las plantas, pero nunca como sustituto de la luz natural. Los reflectores se colocan en el techo e iluminan un área bastante extensa que puede abarcar una sola planta o un conjunto de ellas. Las lámparas que los sujetan pueden ir empotradas en el techo o atornilladas a él y suelen ser de formas variadas. A la vez, si las habitaciones son muy grandes, se montan varios reflectores sobre unos rieles para poder dirigir la iluminación hacia distintos puntos del local. [31].

**LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.** La intensidad luminosa que producen es mayor que la de los focos incandescentes y el calor es menor, pero tienen la desventaja de que consumen mucha energía eléctrica ya que la potencia mínima de una lámpara de este tipo es de 250 vatios. Pueden resultar prácticas sólo si se tiene gran cantidad de plantas porque en ese caso el gasto que significa proporcionar a cada una cualquier otro tipo de iluminación puede ser

mayor que el contar con una lámpara de luz mercurial.

**TUBOS FLUORESCENTES.** Es el tipo de iluminación más barata y eficaz y por lo tanto lo que más se usa para el cultivo de plantas de interior. Los tubos fluorescentes son los que proporcionan mayor intensidad por vatio con la menor pérdida de energía en forma de calor. Con ellos no existe el peligro de que las plantas se quemem ni la solución nutritiva se evapore aunque los recipientes se pongan cerca. Estos tubos se fabrican de distintas formas, colores y tamaños.

La mayoría son rectos y su longitud varía entre 20 cm y 2.5 m, pero también los hay circulares con un diámetro de 20 ó 25 cm.

Las bases o balastras que sujetan los tubos suelen tener paredes reflectora y alojan desde uno hasta cuatro tubos paralelos del tipo recto. También las hay circulares para los tubos de esa forma. Las balastras suelen adosarse al techo o a la pared, pero si se desea pueden suspenderse por medio de cadenas. Los canales fluorescentes son más estéticos, pero no es fácil encontrarlos y es necesario que los instale un experto. Conviene usar focos incandescentes cuando se tienen pocas plantas y no es grande la falta de luz natural que se intenta compensar de esta manera. La literatura recomienda usar tubos fluorescentes cuando se tienen jardineras, grandes macetones o varias plantas reunidas y verdaderamente les falta luz o se quiere sustituir totalmente la luz solar. Por último se aconseja emplear lámparas de vapor de mercurio para grandes grupos de plantas que exigen un alto nivel de iluminación (31,39).

#### CALIDAD DE LA LUZ.

Para el crecimiento de las plantas son indispensables dos de los colores -- del espectro de la luz; el azul y el rojo.

Cuando se emplea la luz artificial para sustituir a la natural, debe emitir rayos rojos y azules en la proporción requerida por la planta. En este caso se emplean tubos de luz fluorescente; los hay de tres tipos: "luz de día", "luz blanca" y especiales para plantas de interior llamados "grolux" (en México, Duro-Test Vita-Lite). La radiación de los primeros se inclina hacia el azul y la de los segundos al rojo. Si no se consiguen los "grolux" se puede lograr el equilibrio necesario combinando los tubos "luz blanca", pero indudablemente los "grolux", aunque son más caros resultan más eficaces ya que se trata de una luz especialmente creada para el cultivo de plantas de interior en que ya están balanceados los rayos rojos y azules. -

Estos tubos emiten una luz de apariencia rojiza que además resulta al colorido del follaje y de las flores de las plantas que ilumina.

#### DISTANCIA ENTRE LA LUZ Y LAS PLANTAS.

Lámparas incandescentes. Como estos focos producen gran cantidad de calor, la distancia a que deben quedar de la planta depende de la potencia que tengan. Un foco de 15 a 25 vatios puede colocarse a 30 ó 40 cm de la planta, uno de 100 vatios debe estar por lo menos a 60 cm de ella y si llega a 150 vatios de distancia debe ser de 75 cm a 1 m. Los reflectores emiten algo -- menos de calor en relación con su potencia; uno de 75 vatios, por ejemplo, - puede ponerse a 45 cm de la planta y los más potentes a 90 cm ó 1 m.

Lámparas de vapor de mercurio. La potencia mínima de estas lámparas es de 250 vatios; una de esta magnitud debe quedar a una distancia de 1.20 ó 1.50 m de la planta.

Tubos fluorescentes. La mayoría de estos tubos, incluso los que se fabri-- can especialmente para cultivos de interior, consumen unos 10 vatios de --- energía eléctrica por cada 30 cm de longitud. La mayor parte de esa ener-- gía se emite en forma de luz y no de calor, de manera que no hay peligro al-- guo de que quemen las plantas. Por lo tanto, la distancia a que deben de-- pende únicamente de la necesidad de energía luminosa que tengan los ejempla-- res. Las gramíneas y las plantas de follaje, deben quedar a una distancia entre 20 y 50 cm de la fuente luminosa; algo más cerca, a unos 15 a 30 cm, - si las plantas están floreciendo. Si las plantas son anchas y frondosas nece-- sitan más de un tubo para iluminarlas.

A pesar de lo anteriormente mencionado y recomendado por varios autores, la distancia ideal entre la planta y el tubo fluorescente la determina la prác-- tica.

Se debe de observar las reacciones del ejemplar: si las hojas palidecen, se reseca y crecen anormalmente erguidas quiere decir que la luz es excesiva.- En este caso se aleja del tubo unos 8 cm cada semana hasta que desaparezcan estos síntomas.

Por el contrario, si los tallos se alargan, las hojas nuevas son más peque-- ñas y no florece cuando debe hacerlo o florea poco, lo más probable es que necesite más luz: para esto se tiene que ir acercando progresivamente al tu-- bo fluorescente. Se debe tomar en cuenta que la intensidad de la luz aumen--

ta a medida que disminuye la distancia.

Para mantener constante el nivel de iluminación que se ha establecido para cada planta, hay que limpiar los tubos una vez al mes y cambiarlos cada año o cuando se note que los extremos se han ennegrecido. Si se tienen varios tubos en la misma base, se deben cambiar escalonadamente para evitar un aumento brusco en la cantidad de luz que llega a las plantas. Los tubos usados que no se hayan fundido pueden emplearse para plantas que necesiten menos luz.

#### DURACION DE LA ILUMINACION.

Los focos incandescentes afectan poco el crecimiento de las plantas y se usan sobre todo por su efecto decorativo. Esto no quiere decir que si se tienen los ejemplares muchas horas bajo un reflector no termine estimulando su desarrollo, pero de ninguna manera puede esta luz artificial sustituir la luz solar.

En cambio, la mayoría de las plantas pueden llegar a vivir y prosperar bajo iluminación totalmente artificial si se emplea luz fluorescente se trata de plantas de follaje, necesitarán 12 ó 14 horas diarias de exposición. Las de flor requieren entre 16 y 18 horas al día.

#### DISPOSICION DE LAS LAMPARAS.

Por lo general suelen fijarse al techo o a las paredes o suspenderse encima de las plantas por medio de cadenas, pero también hay otras formas de instalarlos como lo demuestra la figura 25.

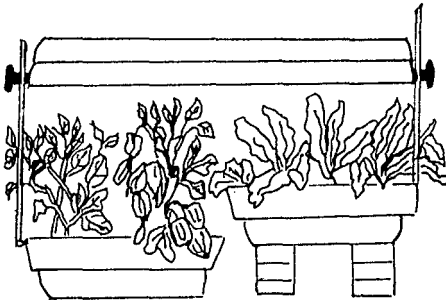
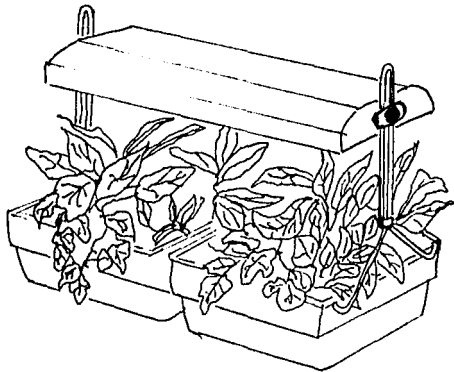


Figura 25. Plantas largas y cortas que pueden ser desarrolladas bajo la misma luz artificial, las plantas cortas levantadas con ladrillos o bloques para que no se afecten por tener menor distancia a la lámpara. (53,42).

Hay lámparas de mesa o de pie que tienen la base adaptada como una pequeña jardinera donde caben dos o tres ejemplares de tamaño medio iluminados por uno o dos tubos fluorescentes cubiertos por una pantalla. Este tipo de lámparas pueden improvisarse usando cualquiera de las que se tengan en el laboratorio, ya sea instalando una base para tubos fluorescentes o conservando el foco incandescente, siempre que se mantenga la distancia adecuada entre éste y la planta; la figura 26 da una idea de ésta jardinera. (33).

Figura 26.



Si se tienen los ejemplares en estanterías o libreros, pueden fijarse en la parte inferior de cada anaquel tubos fluorescentes que iluminen las plantas colocadas en el de abajo. Hay estantería de metal con armazón tubular y -- anaqueles de altura regulable iluminados con tubos fluorescentes que se fijan a ellos por medio de abrazaderas.

## REQUERIMIENTOS DE NIVELES DE LUZ ARTIFICIAL

| MUY ALTO<br>18 horas | ALTO<br>18 a 16 horas | MEDIO<br>12 a 14 horas |           |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| Berenjena            | Calabaza              | Acelga                 | Colinabo  |
| Chile                | Col                   | Apio                   | Espinaca  |
| Jitomate             | Coliflor              | Cebolla                | Lechuga   |
| Pimiento             | Cebolla               | Chicharo               | Mostaza   |
|                      | Frijoles              | Col                    | Nabo      |
|                      | Pepino                | Col de Bruselas        | Perejil   |
|                      |                       | Coliflor               | Rabano    |
|                      |                       |                        | Remolacha |
|                      |                       |                        | Zanahoria |

Un ejemplo claro es en hortalizas:

Si las plantas no tienen los requerimientos de luz necesaria crecerán pálidas, delgadas y débiles; por lo que es necesario tratar de seguir el cuadro arriba expuesto. (33).

## T E M P E R A T U R A .

En interiores y exteriores los vegetales crecen mejor a una temperatura determinada de un rango de 13°C a 29°C. En interiores se debe de esforzar por mantener un promedio de 22°C durante el día y de 16°C durante la noche. Las plantas necesitan esta variación de día y de noche para que durante el día produzcan energía y en la noche la asimilen y crezcan. Sin una variación de temperatura definitiva las plantas van a recibir señales confusas y van a ocasionar que estén produciendo continuamente energía.

Igualmente, la temperatura es principio para el estabón de la fotosíntesis, - las plantas pueden vivir pero dejan de crecer cuando la temperatura va llegando al punto de congelación.

Las plantas de zona templada tienen un límite más alto que es alrededor de 29 a 32°C; arriba de este nivel, como la floración puede suspenderse.

Por otro lado las plantas de zonas tropicales tienen una mayor tolerancia, pa



ra una adaptación natural. Si se cultivan durante el verano en interiores se debe tener aire acondicionado, está es una buena medida porque el permitir altas temperaturas va a provocar transpiración excesiva y se marchiten. Sin embargo el aire acondicionada puede dar como resultado problemas en la humedad. Así pues se debe hacer pequeños experimentos para encontrar la combinación correcta.

Si se usa un aparato de aire acondicionado es mejor no hacerlo funcionar todo el tiempo, hay que dejar de usarlo durante la noche, de otra manera se estará enviando señales confusas a las plantas.

Por supuesto que la recomendación, es mover los jardines hidropónicos al exterior durante el verano, así se aprovechará la luz natural y desde luego sin costo alguno; de esta manera los problemas de control de luz y temperatura serían menores.

Durante el invierno se debe cuidar la proporción de calor a los cultivos -- con relación a ventanas y puertas, no deben de estar donde haya fuertes corrientes de aire o fuente calor (como el aire acondicionado). Ya que el calor proporcionado a las plantas no será homogéneo, unas recibirán más calor que otras, pudiendo provocar a algunas plantas extrema transpiración y como consecuencia deshidratación, resultando un mal crecimiento, que se deshojen y posiblemente dejen de crecer.

Si se decide controlar la temperatura, se recomienda, usar una lámpara de metal de halógeno para interiores y de vapor de mercurio para invernaderos. (52).

## H U M E D A D

Juega un papel muy importante en hidroponía, pero si se maneja a pequeña -- escala, como en el laboratorio se podrá dar una cuenta que esto es un aspecto del clima sobre el cual se puede tener relativo control, porque el área de crecimiento es generalmente pequeña y limitada. No hay que olvidar, que un sistema hidropónico en interiores de por sí es ya un humidificador natural en invierno.

En lugares donde el aire es seco se puede proveer de humedad al sistema de dos maneras: por evaporación del agua de la solución nutritiva y por transpiración de la planta. Este es otro punto donde la hidroponía da a la Ma--

dre Naturaleza una ayuda inmensa.

Es importante recordar que las plantas necesitan de algo de humedad, especialmente durante la germinación. En interiores, la luz artificial afecta la temperatura, mientras que la temperatura y la humedad van ligadas una de la otra.

Una combinación ideal temperatura-humedad para vegetales es 40% de humedad relativa a 21°C.

Esto significa simplemente, que ese 40% de la atmósfera es vapor de la humedad a esa temperatura.

Las plantas prefieren humedad relativamente alta. Si el aire que circula a su alrededor es también seco, las plantas transpirarán más, en un efecto de aumento en la cantidad de humedad en el aire.

A las plantas como el pepino, necesitan una cantidad alta de humedad.

A continuación, el cuadro explica las temperaturas preferidas de algunos -- cultivos hidropónicos más comunes. Hay que tener presente que el 40% de humedad a 21°C es la forma base de medida del medio ambiente. (32,33).

| F R I O (10 a 20°C) |           | C A L I E N T E (16 a 20°C) |          |
|---------------------|-----------|-----------------------------|----------|
| Apio                | Colinabo  | Berengona                   | Pepino   |
| Berro               | Espinaca  | Calabaza                    | Pimiento |
| Brócoli             | Lechuga   | Chile                       |          |
| Cebolla             | Rábano    | Frijoles                    |          |
| Chicharo            | Remolacha | Jitomate                    |          |
| Col                 |           | Maíz                        |          |
| Coliflor            |           | Melón                       |          |

#### CUIDADO DE LAS PLANTAS.

Se debe tomar en cuenta, que en interiores la atmósfera frecuentemente contiene polvo y humo. Cada semana por lo regular, rociar las plantas con --- agua simple; limpiará los poros de las mismas y lavará la acumulación de -- polvo.

Se necesitan semanas e incluso meses para que las plantas se adapten a la iluminación artificial, pero una vez que lo han hecho, crecen y se desarrollan bien.

Si se tiene en lugares muy cerrados se debe aumentar la ventilación.

El crecimiento interrumpido a lo largo del año bajo iluminación artificial no afecta a la mayoría de las plantas de interior, ya que son especies tropicales, pero puede perjudicar a las de climas fríos o templados acostumbradas a pasar por un letargo invernal.

Muchos horticultores prefieren someter a un letargo forzado a todas las plantas cultivadas en estas condiciones. Basta bajar 3 o 4 horas al día la iluminación.

Antes de iniciar un cultivo hidropónico se deben de tomar en cuenta algunos conceptos básicos de agricultura para un mejor resultado en la producción de hortalizas; tales como: siembra, trasplantes y podas. Lo cuál mencionare a nivel general para cualquier sistema que se elija.

## S I E M B R A

La semilla contiene sustancias de reserva que servirán para nutrirla durante el primer período de desarrollo y cubiertas que la protegen. Las semillas pueden permanecer en vida latente un tiempo más o menos largo, transcurrido el cuál, y si las condiciones del medio son favorables, germinan dando lugar a las nuevas plantas. La germinación de la semilla comienza por la absorción de agua que hincha y rompe sus envolturas. Al mismo tiempo, las células germinales inician sus actividades metabólicas a expensas de los materiales de reserva que contienen las semillas y que se transforman en energía y sustancias formativas de tejidos; la respiración se lleva a cabo absorbiendo el oxígeno del medio. La células se multiplican y se van diferenciando para formar los diversos tejidos.

Aparece la raicilla del embrión, el talluelo y las cotiledones que son las primeras hojas que forman parte del embrión de las semillas. Una vez que surgen sobre el sustrato las partes aéreas y se pigmentan, la planta ya puede efectuar la fotosíntesis y producir sus propios alimentos. Por eso se considera que en un almácigo en cuanto las plantitas empiezan a hacer las primeras hojas ya pueden transplantarse.

Para que una semilla germine necesita reunir ciertas condiciones. Unas dependen de la semilla misma y por ello se llaman intrínsecas como es el haber pasado un determinado tiempo en vida latente, estar bien constituida y que el embrión este madura y vivo en el momento de la siembra. Las condiciones intrínsecas dependen del medio y abarcan grado de humedad, temperatura y cantidad de oxígeno adecuados para el desarrollo del embrión. Hay semillas de todos los tamaños, pequeñas como granos de polvo y grandes, las de hortalizas son pequeñas. [13,38,42].

#### RECIPIENTES PARA LA SIEMBRA.

Para sembrar se emplean recipientes poco profundos; el tamaño depende, en este caso del número de plantas que se desee obtener. Si se van a sembrar sólo unas cuantas semillas pueden usarse macetas bajas; si la siembra es masiva, conviene usar almácigos de madera, plástico o unicel que son los más actuales. Los recipientes más prácticos son de 15 a 20 cm y de 20 a 30 cm. Las hay especiales para la siembra que tiene orificios de drenaje en la parte inferior e incluso divisiones para colocar cada especie en un compartimento diferente, pero también puede adquirirse charolas hondas de plástico y hacer unos orificios en el fondo con un alambre caliente, o simplemente --- usar como almácigo o caja germinadora; las cajas de plástico para fabricar hielo.

Antes de llenar los recipientes con la mezcla de enraizamiento o el sustrato que se elija, se cubre el fondo con una capa de grava fina para facilitar el drenaje. La mezcla o sustrato debe estar ligeramente húmeda.

Si se elige hacer la germinación con sustratos no se debe olvidar que estos se deben esterilizar previamente como se mencionó anteriormente.

Una vez húmedo el medio se siembran las semillas, en el caso de hortalizas no se debe sembrar más de dos veces del tamaño de la semilla, como es muy pequeña, queda casi sobre la superficie.

Es indispensable vigilar las siembras para que la mezcla no quede nunca seca. Porque basta con que queden secas unas cuantas horas para que mueran. Pero al mismo tiempo, resulta peligroso regarlas demasiado porque pueden pudrirse o enterrarlas a una profundidad excesiva.

Para germinar, las semillas de la mayor parte de las plantas de interior requieren una temperatura mínima de 18°C, pero hay algunas que necesitan hasta 29°C. Las temperaturas requeridas para cada especie se indican generalmente en los sobres que contienen las semillas.

El tiempo que tardan en aparecer las plantitas (plántula) es muy variable, en ocasiones puede tardar más de dos meses.

Antes de germinar, la luz no es un factor determinante para la mayoría de las semillas; las pequeñas, necesitan luz brillante pero nunca la directa del sol.

Las lámparas fluorescentes son muy útiles en estos casos y también pueden emplearse en las demás clases de plantas una vez que han germinado, ya que los talluelos no deben exponerse a la luz directa del sol pero sí necesitan suficiente intensidad para que las plántulas crezcan fuertes y no se ahílen o se pudran. Si las plántulas no reciben luz más que por una cara a veces crecen torcidas o desequilibradas. Lo mejor es colocarlas 15 ó 16 horas -- diarias bajo una lámpara fluorescente a 25 ó 30 cm de distancia.

Es posible proporcionar a las pequeñas plantitas toda la luz que necesitan colocándolas cerca de una ventana bien iluminada pero protegida de los rayos directos del sol y girándola todos los días; otra solución es poner en el lado más sombrío de la caja germinadora o de la maceta un cartón blanco o plateado que refleje la luz. (11, 38, 42).

#### TRANSPLANTE DEL SEMBRADO

En muchas plantas los cotiledones o primeras hojas embrionarias de estructura diferente a las hojas normales no quedan bajo tierra, sino emergen en el extremo del talluelo e incluso forman clorofila y adquieren el color verde característico. La aparición de estas hojas no indica, sin embargo, que la plantita esté lista para el trasplante; hay que esperar a que broten el segundo o tercer par de hojas antes de hacerlo.

Si las semillas quedaron bien espaciadas cuando se sembraron, las plántulas nacerán convenientemente separadas y podrán dejarse en la maceta o la caja germinadora hasta que crezcan lo suficiente para poder trasplantarlas. En caso contrario, hay que eliminar algunas dejando sólo las más fuertes y lozanas a una distancia igual a su altura.

Cuando las plántulas tengan ya dos o tres pares de hojas pueden trasplantarse a macetas individuales con el sustrato elegido.

Para secar una plántula, se levanta la mezcla que rodea las raicillas empujándola con una tablita o con el mango de una cuchara mientras se sostiene la plantita por los cotiledones o las hojas (nunca debe agarrarse por el talluelo).

Las plantas cultivadas en soluciones nutritivas no necesitan trasplantes.

Sea cual sea el recipiente que se eligio, se debe poner una capa de 2 cm de material inerte en el fondo. Se saca el ejemplar del recipiente antiguo y se sostiene por la base del tallo dentro del nuevo, a la misma altura que tenia en el anterior mientras con la otra mano se extienden las raíces sobre el sustrato. Luego se va añadiendo el material inerte hasta que las raíces queden bien sujetas y el recipiente lleno. Hay que procurar no dañar las raíces durante el proceso, pero si alguna se quiebra, debe cortarse el trozo afectado para que no cause podredumbre o infecciones. Una vez colocada la planta en el nuevo recipiente, se añade la solución nutritiva, de acuerdo al método que se haya preferido.

No es aconsejable trasladar a un cultivo hidropónico plantas que han crecido en la tierra, pero se ve obligado a hacerlo, se lava muy bien las raíces con agua corriente e introducir las raíces también en una solución de Bantate (0.5 g en un litro de agua) que servirá para desinfectar la planta y prevenirla de enfermedades. Entonces se coloca la planta ya en el recipiente hidropónico definitivo. (36,42,66).

## POLINIZACIÓN.

Es una operación de mucha importancia por la obtención de frutos a través del cultivo hidropónico; la polinización en estos cultivos es en áreas con invernaderos cerrados donde se les dificulta a los insectos llegar y efectuarla en estas áreas cerradas, por lo que se tendrá que hacer en forma manual.

Aquí menciona casos específicos como en el caso del jitomate; podrá hacerse cuando hayan aparecido las primeras flores y hasta el final del cultivo. - La forma de polinización consiste en mover o agitar en una forma vibratoria la planta para que haya fecundación en el fruto. La hora más propicia para la polinización es entre 10 y 12 de la mañana.

Ejemplos: Polinización en pepino; consiste en tomar un pincel pequeño, tocar todas las flores que tenga la planta moviendo dentro de ella un poco. El pepino tiene flores masculinas y flores femeninas en la misma planta, al mover el pincel de flor en flor hay intercambio de polen y por consiguiente la fecundación.

Otros cultivos que necesitan polinización, ya se han mencionado antes al -- tratar las variedades fácilmente manejables. (38,46).

## PLAGAS Y ENFERMEDADES.

Para más fácil de entender se clasifican en plagas e insectos y en enfermedades.

Dentro de las enfermedades se encuentran: los hongos, bacterias y virus.

**HONGOS:** Este es principalmente causado por el exceso de riego o --- excedentes de humedad dentro de un laboratorio o invernadero. Su principal característica es la aparición de manchas de color en hojas y frutos.

Las causas de este problema son: la *cenicilla polvorienta*, *cenicilla velle-sa* y la *antracosis*.

**BACTERIAS:** El principal daño es en forma de pudriciones suaves que casi siempre se presentan con olor desagradable. Las bacterias que causan este problema son principalmente la *sarna bacteriana* y la *marchitez bacteriana*.

**VIRUS:** Se presentan básicamente dañando hojas, frutos y en la misma -- planta, la manifestación es en hojas con la aparición de manchas amarillas y verdes dando la impresión de un mosaico. Cuando se manifiesta en frutos (ji-tomate) estos presentan manchas y deformaciones de los mismos. El daño que causa en la planta es un crecimiento lento principalmente [53]

Estas son las manifestaciones de las enfermedades pero se aconseja prevenir las en vez de combatirlas.

Va sea prevención o combate se hace con algunas mezclas que se consiguen en el mercado y el nombre comercial es el de **FUNGICIDAS**, de los cuales existen en el mercado un gran número de productos de este tipo. Ejemplo; **CAPTAN 20 gs/10 lt.**

**INSECTOS:** se clasifican en: masticadores, insectos *chupadores* e insectos - *barrenadores*.

**INSECTOS MASTICADORES.** Los principales son el falso gusano medidor, gusano - soldado y la pulga saltona. Los daños que ocasionan estos insectos son muy desagradables y notorios; pues se presentan en hojas, tallos y frutos mordi-dos.

**INSECTOS CHUPADORES.** Los principales son pulgones, chicharritas, arañas ro-- jas, trips y la mosquita blanca.

El daño se presenta en hojas enroscadas y manchadas, frutos secos y en mu-- chas ocasiones causan enfermedades a las plantas.



**INSECTOS BARRENADORES.** Estos insectos son muy pequeños y difíciles de ver - por lo general.

Dentro de ellos están el gusano del fruto, el barrenillo del chile, minador de la hoja y el gusano alfiler. El daño principalmente es el de caminos en hojas, túneles en los frutos que por lo regular se pudren, se agrían y quedan sin sabor.

Para el combate o la prevención de este problema, existen en el mercado un gran número de productos que son INSECTICIDAS: Hay líquidos y sólidos. Se recomienda el VOLATRON 30 cc/10 lt.

Se puede agregar por separado fungicidas e insecticidas pero también se puede usar una mezcla de ambos y aplicarla con una bomba aspersora o una sencilla bomba de D.D.T. o algún rociador; con esto se tiene la seguridad de que con la mezcla se está combatiendo y previniendo enfermedades e insectos. --- (53).

Estas prevenciones y combates son para cultivos que se hagan en exteriores en interiores el problema de enfermedades e insectos es menor ya que de por sí en unidades hidropónicas, las plantas son más resistentes a las enfermedades, pero en caso de que se presenten se tratan de la misma manera.

Una de las aplicaciones más importantes que tiene la hidroponía es el cultivo de "Hortalizas" en pequeña y mediana escala; en donde puede solucionar el problema de suministro de vegetales en nuestra dieta diaria: ya que, además, el transporte y almacenamiento a las grandes ciudades cada día es más costoso.

Con la producción de hortalizas en cualquier sistema hidropónico, nos haríamos autosuficientes en el suministro de alimentos vegetales.

Por lo que se le dedica en esta revisión bibliográfica un capítulo especial al cultivo de hortalizas en pequeña y mediana escala.

A continuación se expone un ligero análisis de lo que son las hortalizas; cuales se pueden cultivar en este nivel y sobre todo las especies más fáciles de manejar.

## H O R T I C U L T U R A .

## CONCEPTOS BASICOS :

Horticultura, en su significado moderno comprende al cultivo de las hortalizas, los frutales y las plantas ornamentales.

Una planta horticola es aquella que recibe una atención individual del hombre, de acuerdo a las necesidades particulares para que dé el producto espedido. Esta definición clásica permite comprender que los cultivos hortícolas, son por ejemplo, manzanos o naranjos, tomates o cebollas, o cualquiera de las plantas ornamentales que requieren una atención individual de cada planta, para su siembra, poda, abono o cosecha. Esto implica la ejecución de un arte que se ha transmitido desde la antigüedad y mejorado a través de generaciones; especialmente en estos tiempos se ha enriquecido por la aplicación de tecnologías continuamente mejoradas, adquiridas por la vía de la experimentación científica. (16).

Existen unas 40 hortalizas principales en el comercio, pero su número varía de país en país según las costumbres y hábitos; los más importantes y más comunes en nuestro país se identifican en el siguiente cuadro: (22).

## C A S T E L L A N O

## NOMBRE CIENTIFICO

|                       |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|
| Acelga                | Beta vulgaris var. cicla           |
| Aji (chile, pimiento) | Capsicum sp                        |
| Ajo                   | Allium sativum                     |
| Apio                  | Apium graveolens                   |
| Alcachofa             | Cynara scolymus                    |
| Arveja, chícharo      | Pisum sativum                      |
| Berenjena             | Solanum melonaena                  |
| Brócoli               | Brassica oleracea<br>var. italica  |
| Camote, batata        | Imoocca batatas                    |
| Cebolla               | Allium cepa                        |
| Chayote               | Sechium edule                      |
| Calabacita italiana   | Cucurbita pepo                     |
| Coliflor              | Brassica oleracea<br>var. botrytis |

## CASTELLANO

## NOMBRE CIENTIFICO

|   |   |
|---|---|
| Espárrago                               | <i>Asparagus officinalis</i>                      |
| Espinaca                                | <i>Spinacia oleracea</i>                          |
| Haba                                    | <i>Vicia faba</i>                                 |
| Lechuga                                 | <i>Lactuca sativa</i>                             |
| Melón                                   | <i>Cucumis melo</i><br>var. <i>reticulatus</i>    |
| Mostaza                                 | <i>Brassica juncea</i>                            |
| Nabo                                    | <i>Brassica campestris</i><br>var. <i>rapa</i>    |
| Papa                                    | <i>Solanum tuberosum</i>                          |
| Pepino                                  | <i>Cucumis sativus</i>                            |
| Perejil                                 | <i>Petroselinum crispum</i>                       |
| Rábano                                  | <i>Raphanus sativus</i>                           |
| Remolacha                               | <i>Beta vulgaris</i>                              |
| Repollo (col)                           | <i>Brassica oleracea</i><br>var. <i>capitata</i>  |
| Repollito Bruselas<br>(col de Bruselas) | <i>Brassica oleracea</i><br>var. <i>gemmifera</i> |
| Sandía                                  | <i>Citrullus vulgaris</i>                         |
| Tomate (rojo)                           | <i>Lycopersicon esculentum</i>                    |
| Zanahoria                               | <i>Daucus carota</i>                              |
| Ejote, frijol (ejotero)                 | <i>Phaseolus vulgaris</i>                         |

Además de clasificarlos alfabéticamente hay varias maneras de clasificarlas: por ejemplo, según la parte de la planta utilizada; de acuerdo al clima en que se producen; por similitudes en forma de cultivo cuando se trata de hortalizas parecidas entre sí; por la parte utilizable, o por pertenecer a la misma familia o género, lo que permite ciertas generalizaciones en los conceptos básicos. (16).

Principales hortalizas según la parte de la planta utilizada: (22).

|                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Frutos que son hortalizas        | Hortalizas de vaina y semilla tierna |
| Aji o chile, berenjena, chayote, | Frijo, haba                          |
| Melón, sandía, pepino,           | ejote                                |
| tomate o jitomate                |                                      |

Tallos, brotes y flores

Alcachofa, brócoli, coliflor  
esparrago, col,  
col de Bruselas

Hortalizas de bulbo

ajo, cebolla

Peciolos u hojas como hortalizas:

acelga, apio, espinaca, lechuga, mostaza

Hortalizas de raíz:

nabo, remolacha, rábano, zanahoria

Tubérculos, rizonas y raíces tropicales:

camote, papa

Semillas tiernas de cereales como hortalizas:

maíz dulce

Otras de las clasificaciones de las hortalizas:

- a) Por su uso: de ensalada, cocidas, industriales;
- b) Por su manejo: percibibles (de hoja, inflorescencias, frutos) y almacenables (raíces y otras partes);
- c) Por su clima: zonas frías, templadas, calidas;
- d) Por las familias botánicas a que pertenecen;
- e) Por su requerimiento fotoperiódico (de día corto, día largo, neutrales);
- f) Por los nombres comunes y científicos

#### HORTALIZAS DESDE EL PUNTO DE VISTA ALIMENTICIO.

Las hortalizas constituyen un capítulo muy importante en la alimentación del hombre. Si bien carne, el pescado y ciertos productos vegetales tienen, como ya lo sabemos, un valor nutritivo notablemente superior al de las hortalizas, estas desempeñan, no obstante, un señalado papel como complemento en la ración diaria.

Proporcionan elementos minerales precisos, así como vitaminas y regulan aparte de otros factores, la digestión intestinal. [22].

Como características generales de las hortalizas tenemos: que poseen una notable cantidad de hidratos de carbono, que constituyen una buena fuente de -

proteínas y que poseen escaso contenido en principios grasos.

Los hidratos de carbono de las hortalizas se presentan en forma de almidón, particularidad que las distingue de otro grupo de alimentos de muy análogas propiedades como los frutos. Estos en estado de madurez, tienen los hidratos de carbono en forma de azúcares. Algunas hortalizas, por excepción, zanahoria y papa, contienen una apreciable cantidad de azúcares. Los hidratos de carbono no asimilables de las hortalizas se hallan en forma de celulosa y otras fibras vegetales.

Las hortalizas leguminosas (ejotes, habas, frijoles, etc) no reconocidas como alimentos con gran riqueza en proteína. En muchos países constituyen la principal fuente de este principio en la ración diaria. De todos es conocida la importancia que en el aspecto alimenticio han adquirido las vitaminas, también es un hecho demostrado y sabido que las hortalizas son excelentes -- proveedoras de estos preciosos elementos.

Otra importante función de las hortalizas es la de proporcionar los elementos minerales para una adecuada alimentación; tales elementos como: calcio, hierro, cobre, fósforo y yodo.

Algunas hortalizas contienen también ácidos orgánicos, libres o combinados -- con bases, formando sales, que dan sabor al producto. A ciertas hortalizas, llamadas ácidas se les atribuye, precisamente por éstos ácidos-cítricos en el jitomate propiedades antiescorbúticas y reguladoras de la fermentación pútrida del intestino.

Los alimentos de aspecto agradable y buen gusto estimula, según es sabido, -- la secreción de los jugos y el movimiento de las paredes musculares del aparato digestivo. Debido a sus variantes de color y sabor, las hortalizas se emplean con éxito para preparar platillos de diferentes cualidades dentro de la ración diaria.

También las hortalizas pueden modificar las acciones bacterianas que se desarrollan en el intestino. Mejorando su higiene. [22].

En países altamente industrializados donde hay un alto consumo de alimentos procesados (embutidos); han tenido graves alteraciones de salud como la arteroesclerosis.

Pudiendo fomentar en nuestro medio el uso y costumbre de agregar a la dieta diaria hortalizas con alto contenido de fibras, pudiendo llegar a prevenir -- lo antes mencionado y superar el futuro de la nutrición de futuras generaciones.

*Por todas las razones antes mencionadas, la difusión del concepto de producción de hortalizas en laboratorio y con el uso de la hidroponía podría ser parte a las soluciones alimenticias de los problemas demográficos.*

### ESPECIES FACILMENTE MANEJABLES

La hidroponía posee una gran promesa para las naciones en desarrollo; como un intento de producción con grandes rendimientos de cultivo en hortalizas, en menor tiempo que el requerido para métodos agrícolas convencionales. James Sholto Douglas ha resumido su amplia investigación en el campo, expresando que " Los vegetales y frutas hidropónicas maduran más rápidamente que en el suelo, produciendo los más altos rendimientos en menos espacios " (Beginners Guide to Hidroponies). (13).

Obviamente, esta es la gran importancia para las naciones que habitualmente tienen problemas de producción de alimentos vegetales, pero el principio de interés a la aplicación en las ciudades es de igual relevancia a la producción individual. Por lo que menciono, en seguida las especies hortícolas -- que pueden desarrollarse en hidroponía más fácilmente ya sea en interiores o exteriores.

**A C E L G A :** Este es un buen cultivo que puede ser cosechado tanto como la lechuga, se van quitando las hojas superficiales de alrededor listas para -- consumirse. Se planta a 10 cm de distancia una planta de otra y hay que protegerla del frío.

**A P I O :** Crece mejor en lugares fríos y no se desarrolla bien en temperaturas extremas. Se planta 10 cm una de otra y se van cortando los tallos jóvenes y hojas para en consumo, el mejor es el que se desarrolla de dos meses -- que es delgado como un lápiz; este por lo general se usa para ensaladas. El de cuatro meses sirve para sopas y guisados. No se arranca la planta entera simplemente se cortan unos tallos cada vez que se vaya a utilizar. Necesita grandes cantidades de sodio y cloro frecuentemente. Se desarrolla en un sustrato bien abreado. (72).

**BERENGENA:** Es posible cultivarla en hidroponía pero no es muy común. Son -- lentas para su germinación y crece mejor en temperatura caliente. Se desarrrollan más grandes si se quitan algunas flores, permitiendo sólo unas pocas frutas por planta. Como es una enredadera, se ponen tutores para asegurar -- los frutos. Necesitan cantidades extras de nitrógeno, fósforo y potasio, pero se debe reducir el nitrógeno, si es posible, después de que el fruto se -- ha formado.

**BROCOLI :** Muchos expertos demandan que es uno de los buenos cultivos para -- hidroponía, sólo se debe cuidar que el sustrato que se use no tenga la cava



terística de inundarse.

**CEBOLLA :** Se planta cerca de cuatro cm cada planta. Necesita grandes cantidades de potasio y nitrógeno.

**CALABAZA:** Se desarrolla básicamente como el pepino, pero necesita más espacio. Se planta de 20 a 23 cm. Necesita un sustrato con buen drenaje.

**CHICHARO:** Todas las variedades crecen bien en hidroponía. Plantar a 7.5 cm cada planta y atar las plantas a tutores. Se debe mantener a temperaturas frías.

**COL :** Se plantan entre 15 cm aproximadamente cada planta. Requiere para su desarrollo temperaturas frías y altos niveles de nitrógeno, fósforo e hierro. Se desarrolla como la lechuga y puede tratarse igual que ella. Las hojas exteriores se cortan para el consumo y lo demás se deja para que siga produciendo hoja.

**COLIFLOR:** Hay que tenerle mucho cuidado ya que es muy susceptible a las variaciones de temperatura. Si se quiera plantarla junto con otros cultivos es preferible que sean plantas que crezcan mejor en medios moderadamente fríos. Se plantan a 20 cm. Necesitan grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y -- hierro.

**ESPINACAS:** Se obtiene rápido el cultivo. Se planta de 5 a 7 cm. En temperaturas frías y necesita abundante nitrógeno y un sustrato con buena aereación y drenaje.

**FRESAS:** El cultivo es bueno en hidroponía. En los últimos experimentos han dado buenos resultados en cultivo en bolsa de plástico (cultivo vertical). - Las plantas se adaptan muy fácil, el promedio de producción en este sistema es muy alto y da fruto todo el año. Su reproducción es vegetativa y sólo - de trasplanta ;

**FRIJOLES :** (claro, francés, lima y soya); Los frijoles crecen en invierno o verano fuera o dentro de un local o laboratorio. En invierno se desarrollan los frijoles de matorral en interiores. En verano crece en exteriores mejor el frijol de poste este puede ser atado en la parte superior (hacerle tutores) y desarrollarse verticalmente. Se pueden plantar juntos bastante cerca (15 cm aproximadamente). Como su nombre lo indica, los frijoles de matorral

tienden a ocupar mayor lugar. Los frijoles requieren menos nitrógeno que -- otros cultivos pero necesitan grandes cantidades de fósforo, potasio y azufre. El agregado necesario para estos es el que no se inunda [72].

**JITOMATE:** Aunque el jitomate es realmente un fruto, es considerado comunmente entre los vegetales. Este es uno de los mejores y más satisfactorios cultivos hidropónicos. En el laboratorio o cualquier interior se siembran ambas variedades la de mata o de poste; están muy bien bajo luz artificial. -- Sólo la diferencia es que para interiores sembrar el jitomate en Febrero a Marzo bajo lámpara y se cambia a exteriores en Abril o Mayo, teniendo así -- una producción fácil de jitomate. Esta producción es fácil que madure como en ocho semanas mejor y mayores frutos que el cultivo en suelo. [21, 34, 70].

**LECHUGA :** Existen dos variedades más conocidas: la lechuga orejona y la cabezona. De la orejona las variedades BOSTON Y NEW YORK son las más conocidas y producen unas de las más grandes cosechas. No es necesario arrancar -- la planta completa, sólo cortar las hojas de la periferia para consumo y el resto quedará para seguir produciendo. [72].

En seis semanas o menos se puede tener una abundante cosecha de lechuga no -- se desarrolla normalmente si hay insuficiencia de luz o temperatura alta --- (pequeñas hojas se desarrollen sobre un tallo fibroso). La lechuga se desarrolla mejor en temperaturas frías de 10 - 21°C con altos niveles de nitrógeno. Se plantan a 10 cm de distancia. Requieren de buen drenaje y buena aireación.

**MAIZ:** Se puede cultivar en hidroponia, pero no es muy común, porque necesita un espacio grande y buen soporte. Hay una variedad enana que es muy fácil -- de cultivar en hidroponia, se planta a 15 cm una de la otra.

**MELONES:** La técnica de desarrollo de melones es similar a la de los pepinos. Necesita temperaturas calientes durante la noche y el día. La humedad alta produce algunos frutos emmohecidos por lo que debe de tener una buena ventilación. Hay que recordar aquí que se debe hacer la polinización cruzada en este cultivo. Se ponen tutores atándose bien para proteger la planta y los frutos, cuando se cultiva en interiores se le debe proporcionar abundante -- luz. [27].

**PEPINO:** Junto con la lechuga y el jitomate, es uno de los cultivos más comunes comercialmente. Su desarrollo es bueno en interiores e invernaderos donde se tiene que hacer la polinización cruzada, pero se desarrolla en exteriores los insectos la hacen. Su mejor crecimiento es en temperatura caliente y luz directa. Necesita humedad relativa alta. Hay que tenerles cuidado ya que son muy susceptibles a enmohecerse. [45].

**PIMIENTO:** Todas las variedades crecen bien en hidroponía: Green Bell, Yellow Banana o Chile cultivandolas juntas o separadas. Crecen en temperatura caliente. Se plantan a 15 cm de distancia. Los pimientos son difíciles de cultivar en interiores más que exteriores porque necesitan altos niveles de luz y no se obtiene siempre con luz artificial en este caso. No se debe poner plantas juntas de jitomate y pimiento, porque el jitomate detienen su crecimiento.

**RABANOS:** La mayor de las variedades son apropiadas; pero como con la remolacha es mejor su crecimiento en vermiculita y plantarlas de 3 a 4 cm de distancia. Se debe cuidar que la vermiculita tenga la mitad de humedad que normalmente tendría. Los rábanos brotan muy fácilmente, teniéndolos en temperatura fría y buena luz. El riego sólo se usará para las dos o tres primeras semanas después ellos se desarrollan por si solos.

**REMOLACHA:** Las raíces de estos vegetales se desarrollan mejor en vermiculita con relativamente menor humedad. Sólo una pequeña cubierta de grava se deberá usar para evitar la producción de algas. Se desarrollan en temperaturas frías, se plantan separadas 7.5 cm. Necesitan, calcio, potasio, sodio y cloro.

**ZANAHORIA:** En hidroponía es mejor cultivar variedades cortas, porque las plantas se desarrollan bajo el nivel del suelo, una variedad más grande necesitaría una cama de agregado mas grande. Se plantan 4 cm una de la otra. Necesitan mas potasio y fósforo. [31,33,36].

#### PLANTAS COMUNES.

Entre las plantas hay "amigas" y "enemigas"; algunas se protegen entre sí de las plagas e insectos; unas dan sombra y otras crecen mejor si tienen vecinas. En hidroponía se desea tener dos o más plantas juntas para aprovechar al máximo los espacios. A continuación hay una lista de hortalizas e hierbas que pueden crecer juntas y las que son enemigas en cultivo.

| PLANTA          | AMIGAS   | ENEHIGAS                            |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| ajo             | remolacha<br>cebolla   | frijol ejotero y mata<br>chicharo   |
| apio            | frijol, col,<br>coliflor<br>jitomate   | -                                   |
| brócoli         | col, jitomate  | -                                   |
| calabaza        | maíz dulce   | papa                                |
| chicharo        | frijol, nabo,<br>maíz dulce, papa<br>pepino, rábano,<br>zanahoria                                  | ajo<br>cebolla                      |
| cebolla (7)     | ajo, colinabo<br>fresa, lechuga,<br>jitomate, remolacha,<br>zanahoria                              | frijoles<br>chicharo                |
| cebollina       | remolacha<br>zanahoria   | frijol<br>chicharo                  |
| col             | apio, brócoli<br>frijol de mata<br>eneldo, lechuga<br>manzanilla<br>hierbabuena, papa<br>remolacha | frijol ejotero<br>fresa<br>jitomate |
| col de Bruselas | jitomate   | -                                   |
| coliflor        | frijoles, jitomate   | -                                   |
| colinabo        | cebolla<br>remolecha   | frijol ejotero<br>hinojo, jitomate  |
| eneldo          | col  | zanahoria, frijoles,<br>jitomate    |
| fresa           | cebolla, lechuga,<br>espinaca,<br>frijol de mate   | col                                 |

| PLANTA         | AMIGAS   | ENEMIGAS                                       |
|----------------|--|--|
| espinaca       | fresa  | -  |
| frijol ejotero | coliflor, maíz dulce,<br>pepino, rabano,<br>zanahoria                            | ajo, cebolla<br>colinabo, hinojo,<br>remolacha |
| hinojo         | -  | colinabo, frijoles<br>jitomate                 |
| frijol de mata | col, coliflor,<br>fresa, papa, pepino<br>remolacha, zanahoria                    | ajo, cebolla<br>hinojo, ruda                   |
| jitomate       | cebolla, cebollina<br>perejil, zanahoria   | col, colinabo, eneldo<br>hinojo, papa          |
| lechuga        | cebolla, col,<br>coliflor, fresa,<br>pepino, remolacha<br>rábano                 | -  |
| maíz dulce     | calabaza, chicharo,<br>frijoles, papa,<br>pepino                                 | -  |
| nabo           | chicharo   | -  |
| perejil        | jitomate   | -  |
| pepino         | chicharos, frijoles,<br>rabano   | hierbas aromáticas<br>papa                     |
| rábano         | chicharo, lechuga<br>frijol ejotero<br>pepino<br>zanahoria                       | -  |
| remolacha      | frijol de mata,<br>cebolla, cebollina<br>col, colinabo, lechuga                  | frijol ejotero                                 |
| zanahoria      | cebolla, cebollina<br>chicharo, frijoles,<br>lechuga, papa,<br>jitomate, rábano. | eneldo   |

Para tener óptimos resultados en los cultivos, es indispensable saber cuál es mejor época del año para sembrar, sobre todo en exteriores. Si se siembra en interiores y se cuidan los factores del clima, se puede sembrar cualquier época del año. (21,31).

#### RECOMENDACIONES PARA CULTIVO HIDROPONICO

| C U L T I V O    | VARIEDAD               | MEJOR ÉPOCA DE SIEMBRA | DÍAS APROXIMADOS DE LA SIEMBRA A LA COSECHA. |
|------------------|------------------------|------------------------|--|
| acelga           | FORDHOOK GLANT         | AGOSTO A OCTUBRE       | 55 A 65                                      |
| apio             | COMPAC II, UTAH T.G    | TODO EL AÑO            | 140 A 180                                    |
| betabel          | ROYAL RED, KING RED    | TODO EL AÑO            | 60 A 105                                     |
| brócoli          | F. I. CLEOPATRI, W. 29 | TODO EL AÑO            | 80 A 110                                     |
| calabacita       | ZUCCHINI G, CASERTA C  | MARZO A SEPT.          | 50 A 80                                      |
| cebolla          | WHITE GRANO, E. L 303  | TODO EL AÑO            | 150 A 180                                    |
| col              | GLORY OF E. B. CHIP    | TODO EL AÑO            | 80 A 120                                     |
| coliflor         | EARLY SNOWBALL         | TODO EL AÑO            | 85 A 220                                     |
| chicharos        | EARLY HARVEST, A.      | AGOS. A ENERO          | 61 A 75                                      |
| chile pasilla    | CRIOLLA DE A. P        | MARZO A ABRIL          | 150 A 160                                    |
| espinaca         | HIDRA No. 7 VRIROFLAV  | TODO EL AÑO            | 40 A 70                                      |
| frijol mata      | VALENTINE, CONTENDER   | MARZO A JUNIO          | 60   |
| frijol ejotero   | APENNINE, HARVESTER    | MARZO A JUNIO          | 60   |
| jitomate         | ACE, SAN MARZANO, VF   | NOV. Y JUNIO           | 100 A 120                                    |
| lechuga orejona  | EIFFEL TOWER COS C.    | TODO EL AÑO            | 70 A 95                                      |
| lechuga cabezona | GRANT LAKES            | TODO EL AÑO            | 70 A 90                                      |
| pepino           | VICTORY, POINNETT      | FEB. A JULIO           | 58 A 70                                      |
| rábano           | CHERRY GL. BELLE       | TODO EL AÑO            | 30   |
| zanahoria        | NANTES                 | TODO EL AÑO            | 90 A 110                                     |

### PROCEDIMIENTO DE CULTIVO

Para producción de hortalizas en hidropónia, se ha trabajado de la siguiente manera:

**M A T E R I A L :** Bolsas de polietileno negro de 30 centímetros de diámetro por 45 cm de alto.

**S U S T R A T O :** Tezontle o grava. Previamente se esterilizó con agua -- hirviendo.

Con muy buenos resultados se ha usado una mezcla de sustratos que se ha hecho con:

tezontle 33 %

tierra vegetal  
(tierra negra) 33 %

aserrín 33 %

Sólo que esta mezcla se desinfecta con Captán (1g/1 litro) antes de usarlo.

A cualquiera de los dos sustratos se les agregó

Veso 7 Kg

Superfosfato 2 Kg

**SOLUCIÓN NUTRITIVA :** Se utilizó la fórmula de Douglas para grava (preparando sólo 100 litros en cada ocasión, de acuerdo a las necesidades). Y con algunas variantes, como agregar Borax.

Fórmula de Douglas para grava. g/ 1000 l

#### Salés

nitrate de potasio 810 g

nitrate de amonio 320 g

sulfate de magnesio (sal de Epson) 500 g

borax 28 g

Por lo general el pH de esta solución es básico por lo que se ajusta con --- ácido fosfórico 1N o ácido sulfúrico 1N, de 6-6.5 para hortalizas.

**STEMBRA :** Las semillas se han conseguido en tiendas de artículos de jardinería o con proveedores de fertilizantes y la mayoría en tiendas de autoservicio (son de importación con nombres e indicaciones en -- inglés generalmente)

Como las semillas de hortalizas son muy pequeñas, no se siembra a profundidades mayores de dos veces su tamaño.

Se obtuvieron mejores resultados haciendo almácigos: que son lugares pequeños donde se siembra las semillas mientras germinan para ser trasplantadas después a macetas o especios mayores.

Los almácigos se fabricaron en cajas germinadoras como ya se mencionó en el tema dedicado a la siembra.

En estos sustratos se puede sembrar cualquier tipo de hortaliza - lo único que va a variar es el ciclo de germinación y vida de las plantas; más o menos de 15 a 45 días dependiendo de la especie.

Una vez que la semilla emerja hay que esperar hasta 10 cm de altura (excepto el jitomate: hasta 30 cm) de aquí se procedió a trasplantar de la manera como también ya se indicó en el tema de --- trasplante.

Al usar mezcla de sustratos, antes de trasplantar, la raíz de la hortaliza se lava perfectamente con agua y con una solución de -- cualquier fungicida (1g/1 litro), en el caso de Bentate se usó -- 0.5 g / 1 litro, con esto se previene de enfermedades a la planta - a partir del trasplante hasta 20 días después.

Las bolsas de polietileno se prepararon de la siguiente manera: a las bolsas se les hizo pequeños orificios para que se permitiera el drenaje, colocándoles 10 cm de grava en la parte inferior - y 27 a 28 cm de mezcla de sustrato.

**RIEGOS :** Durante los primeros cinco días fueron como sigue: dos riegos de agua corriente en la mañana y en la tarde y uno de la solución - nutritiva al medio día; estos fueron de un litro por bolsa co--- rrespondiente.

Después de estos días de adaptación sólo se hizo un riego por día con solución nutritiva de un litro por bolsa.

En este caso de instalaciones pequeñas, la solución se vierte en forma manual

Un día a la semana se dejó sin solución nutritiva la hortaliza, - para evitar acumulación de sales en las raíces. Sólo se hizo el



riego con agua corriente.

En el caso de hortalizas que producen fruto, ya que se tuvieron - en interiores se condujo a la polinización, como en el caso del - pepino, calabaza y fresa.

La producción y la cosecha dependieron de cada especie de hortaliza que se sembró. Como se trabajó en invernadero la producción y cosecha han sido durante todo el año.

También se ha trabajado en exteriores siguiendo el cuadro de recomendaciones que se mencionó en el tema anterior.

## C O N C L U S I O N E S

En los sistemas hidropónicos se logra la máxima eficiencia del uso del agua debido a varias causas como son : la inexistencia de perdidas por infiltración y conducción, la recirculación y almacenamiento, lo cual permite disminuir el volumen necesario para la producción.

Al trabajar en pequeña y mediana escala es posible, calcular los requisitos de agua durante el ciclo de vida de cada especie, evitando el desperdicio de este limitado recurso sobre todo en nuestra ciudad que cada vez es mas difícil el suministro, lo mismo que en varias zonas, ya mencionadas, donde el abastecimiento va siendo menor cada día; además del recurso suelo que dan como resultado que estos factores limiten la producción agrícola.

Para preparar cultivos hidropónicos en pequeña y mediana escala se utiliza cualquier recipiente que se tenga a la mano; como botes o cajas de plástico, botellas de vidrio, cajas de madera o bolsas de polietileno, lo que hace que el costo no sea alto; ya que se está recurriendo a material fácil de conseguir.

Los productos químicos que se utilizan, para la preparación de la solución nutritiva y las semillas se pueden obtener en las tiendas de autoservicio o de fertilizantes. Algunas sales se consiguen en farmacias. Esto reduce el costo de inversión y producción al mínimo.

La mejor nutrición de las plantas en hidroponía genera un mejor crecimiento y desarrollo, aunado a una mayor precocidad e incremento en su resistencia a plagas y enfermedades. La alta disponibilidad de nutrientes también permite manejar densidades de plantas mayores. Todo esto propicia un mayor rendimiento y seguridad en las cosechas.

La hidroponía posee una gran promesa para que los países desarrollen un intento de producción de cultivos de hortalizas, forraje (no solo para alimentar bovinos, caprinos y ovinos; sino también a cerdos, gallinas, pavos, caballos, etc.); algas como posible fuente de alimentación para animales y humanos; en menor tiempo que el requerido por los métodos de agricultura convencional. Obviamente; esto es de gran importancia para las naciones que habitualmente tienen problemas de baja producción en alimentos vegetales, pero principalmente es de interés, su aplicación en grandes ciudades con igual relevancia en lo individual.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ADANSON R. Soiless Culture of Seedless Greenhouse Cucumbers and Sequence Cropping. RAN and E.F Mass  
Ottava 1981  
pags. 1-20
  
- 2.- AVRES Gilbert H. Análisis Químico Cuantitativo  
University of Texas, Austin  
HARLA S.A. DE C.V. 1970  
pags. 287-352
  
- 3.- BALBOLLA y Alcalá, José María R. La preparación de soluciones nutritivas para investigaciones de nutrición vegetal en Boletín del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. Madrid 1950  
pags. 525-559
  
- 4.- BENTLEY Maxwell "Características de Vermiculita" en Growig plants --- without soil (vermiculaponies). Tohannesburg, Hydro-Chemical  
Idd. U.S.A., 1955  
pags. 8-14
  
- 5.- BENTLEY, Maxwell "Fórmula Solución Nutritiva" en Hidroponic Plus:  
The Bentley System.  
Sioux Falls, S.D.: O'Connor 1973  
Pags. 113-135
  
- 6.- Biebel, Joseph P. Hydroponies, the science of growing crops without soil of tallahassee  
Department of Agriculture, UCLA 1960  
pags. 1-5

7. - BOIKAVA S-N. Productivity and onions grown on different substrates in hydroponics.  
Vestnik Moskovskogo Univesiteta, *Biologiya, Pochvovedenie* 1972  
pags. 89-94
  
8. - BURNLEY Horticultural College. "Vegetable Crops" en Comercial aplicacions of Hydroponics seminar por BHG, Burnley  
Gubernment of Victoria 1976  
pags. 12-29
  
9. - BUTLER J. Hydroponics as a hobby: growing plants without soil por ---  
J.D.V. Butler and N.F Oebker Urbana  
University of Illinois, College of Agriculture 1962  
pags. 1-16
  
10. - DAVYAN G. The productivity of medicinal essential oil and condiment - plants grown under open-air Hydroponics.  
Horticultural Abstracts No. 8, 1976  
pags. 619-629
  
11. - DICKERMAN, Alexandra Collins. "Climate" y "Seed" en  
Discovering Hidroponics Gardening. Ed. Collins  
Santa Barbara, Calif. 1975  
Pags. 83-89 y 101-114
  
12. - DOUGLAS, James Sholto. "Agregados" y "Riego" en Hidroponia,  
Cómo Cultivar Sin Tierra.  
México Ateneo 1981  
Pags. 14-19 y 97-115
  
13. - DOUGLAS J.S "Sand Culture" en Beginner's guide to hydroponics  
London, UK; Pelham Books Ltd. 1984  
Pags. 62-84

- 14.- DURANY Carol, Ulises "Cultivo en grava para pequeña escala" en Hidroponía; Cultivos de Plantas sin Tierra, Síntes, Barcelona 1977  
Pags. 45-63
- 15.- DUTTA, Raginald "Principles and Application" en Water Gardening Indoors. Ed. Rosamie Nicconachie  
New York, 1977  
Pags. 5-16
- 16.- EDMON J.B. Principios de Horticultura  
Tercera Edición, Editorial; CECSA  
México 1979  
Pags. 19-25
- 17.- ELLIS, Carleton. "Nutrient Solution" en Soiless Growth of Plants.  
Ed. Reinhold 2ed. Rev.  
New York 1963  
Pags. 90-101
- 18.- ELLIS N.K. Nutriculture Systems, growing plants without soil West Lafayette; Purdue University, Agricultural Experiment Station, 1973  
Pags. 5-21
- 19.- F.A.O. Soiless Cultivation and its Application to Comercial Horticultural Crop. Production  
Stoughton Rome FAO 1969  
Pags. 21-61
- 20.- FLEGMAN, A. "Sand Culture" y "Nutrient Film" en Soils and other growth media.

London. Macmillan, 1975

Pags. 21-25 y 109-119

- 21.- GARCIA Fuentes Antonio de Jesús. "Cultivo de Jitomate" en Estudio de factibilidad económica de la producción de tomate (Lycopersicum esculentum Mill), por medios hidropónicos y en condiciones ambientales controladas en el estado de Nuevo León.  
Monterrey N.L. 1982  
Pags. 21-25 40-43
- 22.- GARCIA Romero Antonio. Horticultura  
Barcelona. Salvat 1959  
Pags. 373-385
- 23.- GUMINSKA, Zofia. "Tropic Gardens" en The Hydroponics culture of plants.  
Warsaw, National Center for Scientific Technical and Economic Information, 1976  
Pags. 57-59
- 24.- HANAN, Joe J. Hydroponics.  
Colorado State University Experiment, 1974  
Pags. 1-19
- 25.- HARRIS, Dudley. "Sand Culture" en Hydroponics, growing without soil --  
3ed. Rev. London. David E. Charles 1971  
Pags. 117-125
- 26.- HEWITT E. "Commonwealth, horticulture and plantation crops" en Sand and Water Culture Methods Used in The Study os Plants Nutrition.  
2ed. Bucks, England 1966  
Pags. 124-143 395-401

- 27.- HIDROPONIA "Cultivo en Melones" en Congreso Internacional de Cultivos sin Suelo. Wageningen Proceedings, Wageningen International Society for Soilless Culture 1980  
Pags. 429-441
- 28.- HOAGLAND D. The Water-Culture Methods for Growing Plants Without --- Soil. Anon. Berkeley, University of Calif. 1950  
Pags. 17-21
- 29.- HOLLIS H. "Advantage" en Profitable Growing Without Soil  
London, English Universities 1964  
Pags. 19-26
- 30.- HUTERVAL, G. "Síntomas a falta de Sales Nutritivas" en Hidroponia cultivo de plantas sin tierra.  
Buenos Aires Albatros 1977  
Pags. 140-155
- 31.- JOHNSON, M.H. Collins, W.L. "Hydroponic Vegetable Production" en Horticultural Reviews, 1985 Westport  
Pags. 483-558
- 32.- JOHNSON, Hunter; George Joseph "Climate, Moisture and Pollination" en Soilless Culture of Greenhouse Vegetables  
University of Florida 1985
- 33.- KENNYON, Stewart "To Buy or Bould, Deficiency Symptomas, Climate, Seeds, Transplants and Hydroponic Vegetables" en Hydroponics for the Home Gardener.  
Van Nostrand Reinhold, Toronto Can 1982  
Pags. 14-18 39-41 49-59 61-67 69-82

34. - MAS, E. Soilless Culture of Commercial Greenhouse Tomatoes,  
Ed. Rev. Ottawa, Agricultura Canada, 1980  
Pags. 1-29
35. - MEXICO Social 1987  
Indicadores Seleccionados BANAMEX  
AEIO S.A. Méx.D.F. 1987  
Pags. 2-16
36. - NICHOLIS, Richards E. "History Aggregate Culture, Sources of Nutrient  
Salts and Vegetables" "en Beginning Hydroponics, Soilless Gardening"  
Philadelphia 1977  
Pags. 2-5 34-38 54-57 83-86
37. - OROZCO D. Fernando. "Soluciones" en Análisis Químico Cuantitativo  
Ed. Porrúa S.A. 1981  
Pags. 146-166
38. - PHILIPSON, D.J. "Seed and Polinitation" en Hydroponics at Home  
Michigan State University 1985  
Pags. 14-21
39. - PRASAD, M Soilless Composts. Glasshouse Tomato Grower Short  
Course. Massey University 1978  
Pags. 14-23
40. - PENNINGSFELD, F. Cultivos Hidroponicos y en Turbo  
Madrid, Prensa 1975  
Pags. 30-41



- 41.- RFSH, Howard M. "Introduction, The nutrient Solution, Sack Culture"  
en Hydroponic Food Production.  
Zed. Woodbridge Press Publishing Company Santa Barbara  
Calif. 1983  
Pags. 21-27 30-36 40-80 213-219
- 42.- REYES Castellanos, Aurelio "Sintomas de Deficiencias, Siembra y trans-  
plante" en Hidroponía, guía para el principiante.  
Méx. Corporación, Hidroponía de México S.A. 1984  
Pags. 36-43 67-70 72-74
- 43.- RICHARSON F. Nutrient Film Techniques  
Northern Ireland No. 11 1980  
Pags. 41-47
- 44.- ROBINSON D. Peat; in Horticulture  
New York Academic Press, 1975  
Pags. 18-23 101-118
- 45.- RODRIGUEZ Cruz, Enrique. El cultivo del pepino (cucumis sativus L)  
en Hidroponía bajo un sistema en grava con subirriación  
Chapingo México 1986  
Pags. 6-37
- 46.- SANCHEZ del Castillo Felipe "Historia, Ventajas y Desventajas, NFT y  
Solución Nutritiva "en Hidroponía: Un Sistema de Producción, princi-  
pios y métodos de cultivo  
Universidad de Chapingo Méx. 1981  
Pags. 3-9 17-27 98-101 11-147

- 47.- SAUNBY, T. "Hidroponic Gardens in offices" en Soilless Culture  
London, Collingridge, 1959  
Pags. 57-61
- 48.- Sawdust Culture of Vegetables in the Tropics en Congreso Internacional de Cultivos sin Suelo  
International Society for Soilless, 1984  
Pags. 3910393
- 49.- SCHWARS. M. American Vegetable Grower and Greenhouse Grower  
Willoughby, Oh. Meister Publishing Co. 1978  
Pags. 7-18
- 50.- SCHWARS. M. "Foreward" en Guide to Commercial Hidroponics  
Jerusalem, Israel Universities 1975  
Pags. 3-11
- 51.- SERRANO Cermeño, Zoilo. Los enarenados y su realización  
Madrid, Ministerio de Agricultura 1976  
Pags. 2-24
- 52.- SERRANO Cermeño, Z. Hidroponia y Energia Solar Aplicada a invernaderos. Madrid 1982  
Pags. 488-493
- 53.- SHUBERT Margot "Sustratos, Pesticidas y Fungicidas" en Manual práctico de Hidrocultivo. Barcelona, Omega 1981  
Pags. 18-23 201-210-

- 54.- STEINER. Abram A. El Desarrollo del Cultivo sin Tierra y una Introducción al Congreso. International Society, 1976  
Pags. 39-56
- 55.- STEINER. Abram A. "The Selective Capacity of Plants for Ions and its Importance of the Nutrient Solution "Congress on Soilless Culture. International Society 1980  
Pags. 83-96
- 56.- STEINER Abram A. "A Universal Method for Preparing Nutrient Solution - of a Certain Desired Composition" en Soiless Culture International Pottash Institute, 1968  
Pags. 134-154
- 57.- STEINER, Abram A. The Universal Nutrient Solution, en Congress on Soilless Culture. Lunteren 1984  
Pags. 633-650
- 58.- STOUT J. Aplicaciones y Técnicas de Hidroponía  
Marvel. Britania 1983  
Pags. 1-12
- 59.- SUSRATOS y sus Propiedades. en Congreso Internacional de cultivo sin suelo. Islas Canarias 1976  
Proceedings Wageningen International Working Group on Soilless  
Pags. 302-309
- 60.- SYNPOSTION on Peat in Horticulture. Principles and application.  
The Hague. International Society for Horticultural Science, 1972  
Pags. 10-31

- 61.- SYMPOSIUM on production of protected Crops in Peat and other media. Gravel and Peat. Dublin, Ireland 1977  
Pags. 114-125 y 201-218
- 62.- SYMPOSIUM on Research on recirculation Water Culture. Principles Littlehampton, England, 1979.  
Pags. 14-22
- 63.- SYMPOSIUM on Sutrates in Horticulture other than Soil. Gravel Culture. The Hague, Scotland, 1979  
Pags. 125-161
- 64.- The Control of Strawberry Plant Nutrition in The Rack Culture en Congreso Internacional de Cultivos sin suelo.  
Working Group on Soilless Culture. Sassari, Italia 1973  
Pags. 77-83
- 65.- TURNER Wayne I. Growing Plants in Nutrient solutions, or scientifically Controlled Growth.  
New York 1945  
Pags. 4-31
- 66.- TURNER W.I. "Siembra, Transplante y cultivos" en Horticultura y Flo  
ricultura sin Tierra.  
Méx. UTEHA 1946  
Pags. 114-151
- 67.- Vertical Soilless System of Lettuce Cultivation en Congreso Mundial de Cultivos sin Suelo. Las palmas. Islas Canarias 1969  
Working Group on Soilless Culture.  
Pags. 93-99

- 68.- VITTIEN J. A Methods of Water Culture for Experiments With Micro-nitrient Elements.  
Calif. 1985  
Pags. 709-712
- 69.- WAN-C-K, Lim E-S. Growing Vegetable Crops in Pots Containing Gravel Chips by The Recirculatin Flow Technique Under Tropical Condi--tions.  
Wageningen, Netherlands, ISOSC, 1984  
Pags. 751-762
- 70.- WHITE R. Soil-less Growing Methrs for Greenhouse Tomatoes  
Massey Univ. 1978  
Pags. 40-55
- 71.- WILCOX, G.E. High Hopes for Hidropocics (in vegetable growing)  
Willoughby, Ohio, 1980  
Pags. 11-14
- 72.- WILCOX G.E. Lettuce Growing in The Nutrient Film System.  
West Lafayette, Indiana Purdue Univ. 1981  
Pags. 18-22
- 73.- WINSOR, G. "Principles" en Nutrient Film Technique  
Little Hompton, England, 1979  
Pags. 10-15
- 74.- WITHROW, Robert B. Nutriculture  
Lafayette, Indiana Purdue Univ. 1948