

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA

SISTEMAS DE PRODUCCION HIDROPICOS



TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

JAIME SANTILLAN SANTANA

GUADALAJARA, JAL., DICIEMBRE DE 1984



LABORATORIO
BOSQUE LA PRIMAVERA
CENTRO DE DOCUMENTACION
E INFORMACION



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Facultad de Agricultura

Expediente
Número

Diciembre 3, 1904.

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
PRESENTE.

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE _____

JAIIME SANTIILLAN SANTIILLAN

titulada,

"SISTEMAS DE PRODUCCION HIDROPONICAS."

Damos nuestra aprobación para la impresión de la
misma.

DIRECTOR.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MARRIACA.

ASESOR.

ASESOR.

ING. SALVADOR MERA MENDOZA.

ING. CRISTIANO ENRIQUE PRECIADO.

hig.

Al contestar este oficio sirvase citar fecha y número

DEDICATORIA

Con todo cariño y profundo amor a mi madre:

Esther Santana Vda. de S.

Quien ha sido la guía constante y ha impulsado mi superación.

A mi esposa:

Lupita

Por su apoyo, comprensión e insuperable ayuda en los momentos difíciles.

A mis hermanos:

Francisco

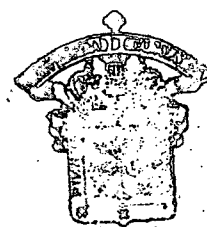
y

Maria de la Luz

Por la fraternidad que hemos logrado.

A mis compañeros y amigos.

A mis maestros.



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agricultura de la Universidad de Guadalajara, por la oportunidad para realizar mis estudios de Licenciatura.

Al Ing. José Antonio Sandoval Madrigal, por su amistad y constante apoyo en la realización de este trabajo.

Al Ing. Santiago Sánchez Preciado, por sus atinadas sugerencias y revisión del trabajo.

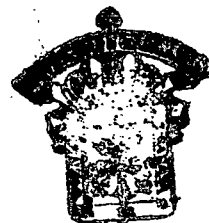
Al Ing. Salvador Mena Munguía, por sus valiosas sugerencias y revisión del trabajo.

Al compañero y amigo Gabriel Martín Pérez Flores, por su valiosa colaboración en la realización de los dibujos.

Al amigo Oscar Martínez Urueta, por su valiosa colaboración en la realización de los dibujos.

A la Srta. Ma. Cándida Lara Muñoz, por su valiosa colaboración en el trabajo mecanográfico.

Y a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a realizar este trabajo.



ESTADO LIBRE Y SOBERANO
DE GUJARATO

I N D I C E



	PAG.
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION	3
III. GENERALIDADES	4
3.1. Historia	4
3.2. Importancia de la hidroponia	7
3.3. Ventajas de la hidroponia	13
3.4. Desventajas de la hidroponia	19
IV. METODOS DE CULTIVO EN HIDROPONIA	21
4.1. Estructura del sistema hidropónico	21
4.1.1. Sustratos y sus propiedades	23
4.1.2. Esterilización del medio de cultivo	29
4.2. Clasificación de los métodos de cultivo en hidroponia	32
4.2.1. Cultivo en solución nutritiva	32
4.2.1.1. Características generales	32
4.2.1.2. Problemas técnicos	34
4.2.1.3. Métodos de cultivo en pequeña escala	39
4.2.1.4. Métodos de cultivo en mediana y gran escala	39
4.2.1.5. Operaciones generales	43
4.2.1.6. Evaluación del cultivo en solución con respecto a otras categorías de cultivo hidropónico.	46
4.2.2. Cultivo en agregado	47
4.2.2.1. Características generales	47
4.2.2.2. Problemas técnicos	48
4.2.2.3. Características nutricionales	48
4.2.2.4. Métodos de cultivo en pequeña escala	54

4.2.2.5.	Métodos de cultivo en mediana y gran escala	66
4.2.2.6.	Operaciones generales	73
4.2.2.7.	Evaluación del cultivo en agregado en relación a otras categorías de cultivo hidropónico	76
4.2.3.	Cultivo en grava	78
4.2.3.1.	Características generales	78
4.2.3.2.	Problemas técnicos	79
4.2.3.3.	Métodos de cultivo en pequeña escala	83
4.2.3.4.	Métodos de cultivo en mediana y gran escala	85
4.2.3.5.	Operaciones generales	90
4.2.3.6.	Evaluación del cultivo en relación a otras categorías de cultivo hidropónico	94
4.2.4.	Técnicas hidropónicas diversas	96
4.2.4.1.	Técnica de cultivo en macetas de Bentley	96
4.2.4.2.	Técnica de la película nutritiva	98
4.2.4.3.	Técnica de producción intensiva de forraje verde	105
4.2.4.4.	Aeroponía	111
4.2.4.5.	Cultivo hidropónico de algas	113
V.	LA SOLUCION NUTRITIVA	115
5.1.	Generalidades	115
5.2.	Fuentes	119
5.3.	Métodos para preparar soluciones nutritivas	120
5.4.	Control técnico de las soluciones nutritivas	122
VI.	COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	129





I N T R O D U C C I O N

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

Los cultivos hortícolas y ornamentales junto con la demanda cada vez más creciente, presentan hoy día el problema de sus altas necesidades en mano de obra, así como los gastos cada vez mayores de los medio que utilizan. No es preciso señalar al técnico o al agricultor, o lo más probable al que se encuentra en ambas circunstancias, cómo en la actualidad se habla del precio por unidad de las semillas de algunos híbridos de jitomate, pimiento o melón; y así podríamos destacar la mayoría de los costos a efectuar a lo largo de un cultivo.

Desde la antigüedad el hombre ha luchado con infinidad de factores ambientales y de otro índole adversos para poder abastecerse de alimentos básicos que le han permitido subsistir a través de los años. Estos factores han podido ser controlados gracias a diversos procedimientos, que en el correr de los años han venido desarrollando hasta llegar a la época moderna donde se han implantado técnicas científicas permitiendo obtener alternativas favorables que han incrementado la producción agrícola, tales como semillas mejoradas, fertilizantes, insecticidas, fungicidas y otros insumos que se han usado para este fin.

Debemos abrir los ojos a la realidad de que es eminente la escasez de alimentos (principalmente hortícolas), y dentro de poco tiempo será relativamente difícil alimentar a todas las poblaciones de las grandes urbes, quienes para sobrevivir tendrán que luchar y producir su propia alimentación.

Es cierto que nuestro país una vez tuvo la dicha de poseer el llamado "cuerno de la abundancia" factor que se ha visto reducido por las alteraciones climatológicas, técnicas inadecuadas de cultivo, mal manejo de los suelos, e innumerables factores del orden político, económico y social.

Ante esta problemática es indispensable establecer soluciones verdaderamente congruentes a la situación actual que impera en el mundo y particularmente en nuestro país.

Es por lo anterior que para justificar la rentabilidad de un cultivo, es necesario obtener unas cosechas elevadas, una calidad selecta, y a la vez utilizar la menor mano de obra posible, manteniendo un elevado porcentaje de garantías de éxito -- del cultivo.

Para acercarnos a estos objetivos se ha evolucionado hacia los cultivos "intensivos" o "protegidos", desarrollándose no ya los invernaderos clásicos, sino decenas de miles de hectáreas -- de cultivos bajo la protección de diversos tipos de plásticos, bien sea en pequeños túneles o en invernaderos con estructuras ligeras de bajo costo.

Esta forma de cultivo ha obligado a su vez al agricultor a buscar las cosechas a lo largo de todo el año, para lo cual ha tenido que buscar las zonas con el clima más adecuado que ayude a las ya citadas protecciones; y es precisamente a causa de este punto por lo que podemos destacar el interés del presente -- trabajo, ya que en estas zonas suele ser escasa la tierra cultivable, así como el agua, añadiéndose a esto que ambos con frecuencia presentan altos problemas por su elevado pH o su contenido en diversas sales.

Espero pues que este trabajo sirva a los compañeros y sea un medio para que muchas regiones de la República Mexicana sigan desarrollando su actual "Agricultura Intensiva".



O B J E T I V O S

OBJETIVOS GENERALES: Mencionar los sistemas hidropónicos más utilizados en la actualidad y su efectividad en el crecimiento y producción de la planta.

OBJETIVOS ESPECIFICOS: Determinar cuales son los problemas -- tanto en producción como en facilidad de manejo.

J U S T I F I C A C I O N

El sistema de "Cultivos Hidropónicos" ha sido trabajado - superficialmente por considerarse un método con gastos muy elevados. Se han llevado a cabo varios trabajos en este aspecto con miras a su utilización a nivel casero resultando la interrogativa de ¿cómo funcionaría este sistema a nivel comercial?

Para justificar la rentabilidad de un cultivo bajo este sistema, estaremos obligados a obtener cosechas elevadas, una selecta calidad, y a la vez, utilizar la menor mano de obra posible, manteniendo un elevado porcentaje de garantías de éxito del cultivo.

Los datos que se presenten en este trabajo, solo tratarán de dar una aproximación de la funcionalidad de los cultivos hidropónicos a nivel comercial y en ningún momento, se pretende que este conocimiento concluya con esta investigación.

GENERALIDADES



3.1. HISTORIA.

El cultivo de las plantas sin tierra se ha desarrollado a partir de los descubrimientos llevados a cabo para determinar que sustancias hacen crecer a las plantas y la composición de ellas.

La palabra hidroponia se volvió popular en los años 30's como un sinónimo de cultivo sin suelo (8). El diccionario de Webster define a la hidroponia como el desarrollo de plantas - en soluciones nutritivas con o sin un medio inerte que provee de un soporte mecánico (47).

El término hidroponia deriva de los vocablos griegos "hydro" o "hudo", que significan agua, y "ponos" equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como "trabajo -- del agua" o "actividad del agua" (37).

Se puede definir a la hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución (17,37).

Existen otros términos que se utilizan como sinónimos de la palabra Hidroponia, tales como: cultivos sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, etc. (37).

Este trabajo sobre los constituyentes de las plantas comenzó tiempo atrás, hacia el año 1600 (8,17,37); no obstante - las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho antes de esto. Los jardines colgantes de Babilonia, los jardines flotantes de

Los Aztecas en México y los de la China Imperial son ejemplos de cultivos "hidropónicos", existiendo también jeroglíficos -- egipcios fechados cientos de años antes de Cristo, que describen el cultivo en agua (17).

Antes de la época de Aristóteles, Teofrasto (372-287 a.c) llevó a cabo varios ensayos en nutrición vegetal, y los estudios botánicos de Dioscórides datan del siglo I a.c. (17).

Jan Van Helmont (1600), creyó haber probado que las plantas obtenían sus nutrimentos del agua. Colocó una planta de sauce de poco más de 2 kg. de peso en un tubo con 80 kg. de suelo seco, el cual estaba cubierto para evitar aporte externo de polvo. Por cinco años solo se le agregó agua de lluvia. Al final del experimento la planta aumentó 64 kg. mientras el suelo sólo perdió 60 grs. de peso, lo cual Van Helmont consideró insignificante (17,37).

Woodward (1699), constató en su libro "Some Thoughts and Experiments Concerning Vegetation", que a la adición de pequeñas cantidades de suelo a diferentes tipos de agua mejoraba el crecimiento de las plantas. Concluyó diciendo que "es la tierra y no el agua la materia que constituye a los vegetales -- (8,17 y 37).

La idea del cultivo en agua fue continuada por Du Hamel -- en 1758, quien puso a germinar semillas de diversas plantas entre dos esponjas húmedas y colocó las pequeñas plántulas en -- unas botellas llenas con agua filtrada y con una solución nutritiva de baja concentración, de forma que las raíces estuvieran sumergidas en la solución y basándose en los buenos resultados del cultivo que se obtuvieron en las plantas de la solución nutritiva, llegó finalmente a la conclusión de que las -- plantas no solamente tomaban simple agua, sino también otros -- elementos disueltos (19).

En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del -- agua, suelo y aire. Boussingault (1851), mediante "cultivo en arena" y "cultivo en carbón" comprobaría esta teoría mas tarde (17,37).

La famosa publicación de Justus Von Liebig, en 1840, sobre la Química y sus aplicaciones a la Agricultura y a la Fisiología, con la cual se ponía en evidencia la función del terreno, de proporcionar a la planta ciertos elementos químicos y el agua. Este trabajo despertó el interés de los estudiosos y después de esto los cultivos en agua tuvieron una gran difusión (19).

Sacks (1860) y Knope (1861), son los que fijaron las bases para el surgimiento de la hidroponia. Descubren que además de bióxido de carbono, oxígeno e hidrógeno, las plantas requieren de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y fierro. Publican las primeras fórmulas de soluciones nutritivas, a partir de las cuales se han desarrollado muchas más, como las de Tollens (1882), Tottingham (1914), Shive (1915), Hoagland -- (1919), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946) que sólo fueron algunas de ellas (17,37).

Robbins (1928), indicó después de varios trabajos que había muchas posibilidades de usar el sistema hidropónico de cultivo en arena a escala comercial (37).

En 1929 se desarrolló el sistema de "Cultivo en Balsa", según el sistema hidropónico, por F. Gericke y sus colaboradores, en la Estación Experimental de Agricultura (California) - comenzando también a usar éste método en la práctica hortícola (19).

A comienzos de los años 30's, W.F. Gericke, puso los ensa

yos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, de nominando a este sistema "Cultivo de Nutrientes Hidropónicos" (17).

Withrow y Biebel (1936), perfeccionan un mecanismo automático de riego por sub-irrigación (de abajo hacia arriba) (37).

En 1936, fue desarrollado un tercer método de cultivo hidropónico en la Estación Experimental de Agricultura en California: "El cultivo en Grava" (19).

En 1938 la hidroponia entró en el campo de la horticultura práctica. Grandes horticultores de Estados Unidos trabajaron con tinas hidropónicas, de los cuales una buena cantidad fracasó, debido principalmente a la falta de información sobre el sistema y lo costoso de los accesorios necesarios para operar (37).

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ejército de los Estados Unidos construyó varias instalaciones hidropónicas con el objeto de abastecer de hortalizas frescas a los soldados estacionados en lugares aislados. Durante el período de la ocupación estadounidense al Japón (al terminar la Segunda Guerra), el ejército de Estados Unidos construyó en la Isla de Chofú la instalación hidropónica más grande del mundo con 31 hectáreas (17,37).

3.2. IMPORTANCIA DE LA HIDROPONIA.

Varios autores coinciden en que la hidroponia, considerada como un sistema de producción agrícola, tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social. Los autores consideran que dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de

aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones (ecológicas, económicas y sociales) y para diversos usos.

A continuación se explican algunas de estas condiciones y usos. Debemos de aclarar que cada ejemplo queda enmarcado dentro de uno o más de los contextos mencionados anteriormente y contribuye en mayor o menor grado a resaltar la importancia que tiene y puede tener este sistema de producción.

- 1) PARA PRODUCIR ALIMENTOS EN ZONAS ARIDAS: en estas regiones, - donde las fuentes de agua son limitadas, se exige el uso más eficiente de la misma. Dado que con la hidroponia es posible recircular el agua y evitar su pérdida por evaporación, se considera que sólo se pierde aproximadamente 20 veces menos agua en hidroponia, 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, en las zonas áridas de México, como de hecho está sucediendo en Israel, Kuwait, Arabia, etc., a solucionar el problema de producir vegetales.
- 2) PARA PRODUCIR EN REGIONES TROPICALES: bajo condiciones de clima cálido seco, el sistema hidropónico resulta ventajoso para la producción de numerosos cultivos, por no requerir de gastos en invernadero ni estructuras semejantes (26).

Bajo condiciones de clima cálido-húmedo es sabido que muchas especies de plantas cultivadas en suelo no prosperan satisfactoriamente, debido principalmente a lluvias lixiviadoras durante casi todo el año, mismas que empobrecen el suelo, dificultan el drenaje y el trabajo con maquinaria, favorecen el desarrollo de enfermedades, etc. (37).

La hidroponia en estos casos (como se demostró prácticamente en Cuba, Puerto Rico, Las Bahamas, Florida, Tanzania, -- etc.) es un sistema para producir económicamente en los trópi-

cos, ya que al manejarse propiamente, elimina en gran medida los problemas mencionados. Esto lleva la ventaja adicional de que debido a lo intensivo del sistema, en una décima de hectárea se puede producir lo que en una hectárea bajo otro sistema, situación que al final significa menor alteración, por desmonte, del valioso recurso selva, que según la opinión de muchos ecólogos y agrónomos es mucho más valioso conservarla intacta mientras no se les explote eficientemente (2,37).

3) PARA PRODUCIR BAJO CONDICIONES DE CLIMA TEMPLADO Y FRIO: en la mayoría de las regiones con climas templados y fríos hay pocos cultivos susceptibles de explotarse económicamente. Generalmente en estos casos se opta por la importación o bien por la producción en invernadero, que por lo caro de su construcción, sólo es aplicable para algunos cultivos muy redituables, susceptibles de proporcionar varias cosechas al año. Con un sistema hidropónico bajo invernadero (como los ensayados con éxito, a nivel comercial en Canadá, Inglaterra, Rusia, China, Argentina, etc.) es posible aumentar los beneficios económicos de su utilización debido, principalmente, a la deducción en los costos de producción; al mayor rendimiento por unidad de superficie y a la gran precosidad 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 (12,26,37).

4) PARA PRODUCIR EN LUGARES DONDE EL AGUA TIENE UN CONTENIDO ALTO DE SALES: existen localidades en las cuales hay agua suficiente, pero que no pueden utilizarse para el riego debido a su alto contenido en sales. En hidroponia, si se cuenta con un análisis químico de esa agua, es posible hacer la solución nutritiva añadiendo sólo aquellas sales que hacen falta para balancearla. Por ejemplo en una instalación comercial para producir crisantemos, ubicada en Alpuyeca, Morelos, se utiliza el -

agua de un río con un alto contenido de sales de calcio y de magnesio. Al preparar la solución nutritiva se tiene cuidado de no usar fertilizantes que tengan esos elementos en su composición e inclusive se ahorra fertilizantes (1,13,24,37,42).

- 5) PARA PRODUCIR EN AQUELLOS LUGARES EN DONDE NO ES POSIBLE LA AGRICULTURA NORMAL DEBIDO A LIMITANTES DE SUELO, TALES COMO: salinidad, erosión, pedregosidad, recosidad, arcilla, tepetate, con pendientes fuertes, etc.

En general, bajo estas condiciones, con la agricultura normal y aún contando con riego, los rendimientos son muy pobres. Con hidroponia no sólo es posible producir con altos rendimientos, sino que también contribuye en mayor o menor grado, al restablecimiento del suelo, lo que es sumamente esencial desde los puntos de vista ecológico y económico (17,37).

- 6) PARA PRODUCIR EN LUGARES DONDE ES PELIGROSO EL CULTIVO TRADICIONAL DEBIDO A QUE EL SUELO ES FACILMENTE EROSIONABLE: en general se puede considerar a la hidroponia como ventajosa en las categorías III a VIII de la clasificación de la APTITUD DE USO DEL SUELO utilizada por DETENAL.

En lugares con exceso de pendiente se puede producir hidropónicamente ya sea al aire libre o bajo invernadero, con la construcción de terrazas, a la vez que se promueve la reforestación. Hay inclusive sistemas hidropónicos en los que las terrazas son una ventaja por permitir el uso de la misma solución nutritiva en varias tinas. Lo que significa un ahorro en la construcción de los depósitos, bombas, etc. (2,17,19,37).

- 7) PARA PRODUCIR HORTALIZAS EN LAS CIUDADES: trabajando la hidroponia en pequeña escala, a nivel de huertos familiares, se con

sidera que dado lo intensivo del sistema, se pueden obtener hortalizas en azoteas, jardines, patios, terrazas, etc., a más bajo costo de lo que significa comprarlas, además de que se gana mucho en frescura, calidad, higiene y satisfacción personal. Por consiguiente un trabajador de sueldo modesto estará menos expuesto a las continuas y ya tradicionales devaluaciones. Esto desde luego, a gran escala, redundaría junto con parques, jardines y zonas arboladas, en una mejoría en la calidad de aire. Es también factible y económicamente viable que las grandes tiendas comerciales puedan producir hortalizas en hidroponia en invernaderos o al aire libre, en las azoteas de las mismas, con lo que podrían vender a mejor calidad y a más bajo costo (2,37).

- 8) PARA PRODUCIR HORTALIZAS DONDE ELLAS SON CARAS Y ESCASAS EN UNA DETERMINADA LOCALIDAD: en efecto, la hidroponia será re-dituable 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, (2,17,37).
- 9) PARA PRODUCIR FLORES Y PLANTAS ORNAMENTALES: si esto se hace en localidades que presentan una o mas de las limitantes anteriormente mencionadas, se puede lograr, en zonas poco productivas, la generación de divisas para el país a través de la exportación de estos productos, produciéndose, desde luego -- también para el mercado nacional (18,37)
- 10) PARA PRODUCIR LAS PLANTAS MEDICINALES O LOS ACEITES ESENCIALES DE MAYOR DEMANDA: Muchas de estas plantas son difíciles de cultivar, por requerir de condiciones climáticas y edáfi--

cas muy especiales; algunas de estas condiciones pueden ser proporcionadas con la hidroponia, además de poderse aumentar en muchos casos el rendimiento del producto activo (37).

- 11) PARA LA PRODUCCION INTENSIVA DE FORRAJE: en los últimos años se desarrollaron con éxito sistemas hidropónicos para producir intensivamente forraje bajo condiciones controladas de tal manera que en cuartos de 9 m^2 ó 27 m^3 se puede producir económicamente forraje de primera calidad para aproximadamente veinte vacas durante todo el año. Este tipo de sistemas puede tener importancia en regiones donde la época seca o la fría o ambas, sean muy prolongadas, con la consecuente escasez de forraje verde durante una gran parte del año (17,19, 37).
- 12) PARA PRODUCIR SEMILLA CERTIFICADA: en efecto, 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 (37).
- 13) 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 esfuerzos para producir las comercialmente. En la actualidad se desarrollan métodos hidropónicos muy promisorios para la producción comercial de algas comestibles (37).
- 14) PARA SEMILLEROS O ALMACIGOS: la hidroponia puede ser de gran valor en producción de esquejes o plántulas libres de enfermedades, por ejemplo: jitomate, crisantemo, tabaco, lechuga, cebolla, chile, etc. (37,38).

- 15) PARA REALIZAR INVESTIGACIONES FISIOLÓGICAS: En este sentido la hidroponia contribuirá en dar a conocer claramente los síntomas de una deficiencia o exceso nutricional (37).
- 16) COMO HERRAMIENTA PARA LA ENSEÑANZA: la hidroponia 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 alumnos, promoviéndose así su actividad creativa (37).

Estos son sólo algunos de los usos que se le pueden dar a la hidroponia, resaltando su vital importancia para los países en vías de desarrollo.

3.3. VENTAJAS DE LA HIDROPONIA.

La hidroponia 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 las que más sobresalen se pueden mencionar las siguientes:

- 1) BALANCE IDEAL DE AIRE, AGUA Y NUTRIENTES: Con algunas excepciones, al utilizar un sistema de cultivo en suelo, es sumamente difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de aire, agua y nutrientes que requieren. 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 sue

lo 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 hidroponia dada las características del sistema, es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango óptimo requerido por los cultivos.

Los nutrimentos se proporcionan al cultivo hidropónico junto con el agua, listos para ser asimilados en forma de solución balanceada y con la presión osmótica adecuada. Las inconsistencias en la fertilización y las pérdidas de los fertilizantes en el suelo desaparecen con un sistema de cultivo hidropónico (7,37).

- 2) 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 (37).
- 3) EXCELENTE DRENAJE: esta característica sumada a que los materiales usados como sustratos generalmente no se desintegran o parten fácilmente, da como resultado una excelente aireación para las raíces (37).
- 4) PERMITE UNA MAYOR DENSIDAD DE POBLACION: ya que los nutrimentos no son limitantes, las plantas cultivadas en hidroponia pueden plantarse más cerca (entre un 10 y 30 %) que sus similares en suelo: aquí el factor que viene a limitar la densidad es la luz (7,19 y 37).
- 5) SE PUEDE CORREGIR FACIL Y RAPIDAMENTE LA DEFICIENCIA O EL --

EXCESO DE UN NUTRIMENTO: en el suelo corregir una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de un ión, es cosa de meses o años, mientras que en un sistema hidropónico, es cosa de unos cuantos días (7,37).

- 6) PERFECTO CONTROL DEL pH: uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrimentos 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 hidroponia, al trabajar con sustratos inertes, es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH al nivel deseado (37).
- 7) NO SE DEPENDE TANTO DE LOS FENOMENOS METEOROLOGICOS: normalmente los cultivos en hidroponia 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 (37).
- 8) MAS ALTOS RENDIMIENTOS POR UNIDAD DE SUPERFICIE: esto resulta evidente si conjugamos las ventajas anteriores. Las pruebas mas contundentes del mayor rendimiento por unidad de superficie de la hidroponia sobre los sistemas de cultivo en suelo, son los numerosos trabajos que se han realizado con una gran variedad de cultivos (37).
- 9) MAYOR CALIDAD DEL 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 del cultivo en suelo (7,19 y 37)

- 10) MAYOR PRECOCIDAD EN LOS CULTIVOS: en cultivos hidropónicos anuales se ha encontrado que, aún al aire libre éstos maduran dependiendo de la especie, de 10 a 60 días antes que sus similares bajo condiciones de suelo (19,37).

- 11) POSIBILIDAD DE CULTIVAR REPETIDAMENTE LA MISMA ESPECIE DE PLANTA: la rotación de cultivos se desarrolla para mantener la fertilidad del suelo y controlar las enfermedades que tienen su origen en él. En hidroponia, el mantenimiento constante de la fertilidad es la esencia del sistema y dado que los organismos causantes de muchas enfermedades en las plantas necesitan de materia orgánica presente en el sustrato, el sistema puede mantenerse relativamente libre de ellas: por otro lado, cabe recordar que los agregados usados en hidroponia son generalmente fáciles de esterilizar (19,37).

- 12) 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 temporada, pueden pagarlos. La ventaja estriba en la posibilidad de capturar mejores mercados o abastecer a uno solo durante todo el año (7,37).

- 13) UNIFORMIDAD EN LOS CULTIVOS: en hidroponia la situación normal es que las plantas sembradas floreen y maduren a un mismo tiempo; esto tiene importancia desde luego en la programación de la cosecha y la venta del producto (37).

- 14) SE REQUIERE MUCHO MENOR CANTIDAD DE ESPACIO PARA PRODUCIR EL MISMO RENDIMIENTO QUE EN EL SUELO: este hecho es importante desde el punto de vista económico por requerir de menor cantidad de terreno; también es importante ecológicamente. Como ejemplo: en una selva habría que desmontar menos terrenos, o bien, en una pendiente se pueden hacer terrazas (37).
- 15) GRAN AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA: en hidroponia, 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 los mismos rendimientos. Se considera que se gasta aproximadamente 20 veces menos agua con un sistema hidropónico (7,19,37).
- 16) REDUCCION DE LOS COSTOS DE PRODUCCION: debido a menores gastos de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, etc., y a que no existan barbechos, escardas, etc. se ahorra tiempo y dinero (37).
- 17) POSIBILIDAD DE AUTOMATIZACION CASI COMPLETA: en hidroponia muchas de las labores como: riego, luz artificial, etc. pueden automatizarse (12,37).
- 18) PROPORCIONA EXCELENTES CONDICIONES PARA SEMILLERO: en la germinación de bulbos, en el trasplante y como revitalizador de plantas débiles creciendo en el suelo (37).
- 19) 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 (17,37).

- 20) MAYOR LIMPIEZA E HIGIENE: se elimina el riesgo de contraer enfermedades infecciosas, que como la disentería 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 (la lechuga) como libres de organismos infecciosos les permite alcanzar precios más altos en el mercado (19,37).
- 21) POSIBILIDAD DE ENRIQUECER LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS CON SUSTANCIAS COMO VITAMINAS O MINERALES: esto puede representar una ventaja en la alimentación infantil o de hospitales (17,37).
- 22) 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 desea establecer el cultivo hidropónico (7,17 y 37).
- 23) REDUCCION DE MANO DE OBRA: esto es debido a que como decíamos anteriormente muchas de las labores se pueden automatizar y además de que se producen la misma cantidad que en el sistema normal en menor superficie de terreno (7,19).
- 24) CASI NO HAY GASTO EN MAQUINARIA AGRICOLA: ya que no se requiere de tractor, arado u otros implementos similares (19,37).
- 25) EL SISTEMA DE CULTIVO PUEDE SER COLOCADO EN CUALQUIER SITIO: esto vendría a beneficiar en el aspecto económico desde el punto de vista que se podría ahorrar en fletes por transporte

de productos agrícolas o envío del producto al mercado (7).

- 26) LA RECUPERACION DE LO INVERTIDO ES RAPIDA: lo que depende -- sin embargo, del cultivo y del tipo de sistema empleado.

3.4. DESVENTAJAS DE LA HIDROPONIA.

Así como hemos señalado las múltiples ventajas que tiene este sistema de producción, nos vemos en la necesidad de mencionar también las desventajas que se pueden presentar, y los cuales se consideran argumentos vertidos en contra de la hidroponia por lo que tal vez no ha alcanzado una popularidad -- mas amplia.

- 1) REQUIERE PARA SU MANEJO A NIVEL COMERCIAL DE CONOCIMIENTO TECNICO COMBINADO CON LA COMPRESION DE LOS PRINCIPIOS DE FISIOLOGIA VEGETAL Y DE QUIMICA INORGANICA: 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 el suelo. Desde luego que cualquier persona que intente -- trabajar a nivel comercial en hidroponia o en suelo debe estar completamente seguro de que su nivel técnico es el adecuado.

Los argumentos anteriores no son válidos si hablamos a -- pequeña y mediana escala, en donde para tener éxito en el manejo del sistema hidropónico sólo se requiere seguir al pie -- de la letra ciertas recomendaciones sencillas (7,37).

- 2) A NIVEL COMERCIAL EL GASTO INICIAL ES RELATIVAMENTE ALTO: en efecto, el costo para establecer un sistema de cultivo hidro-

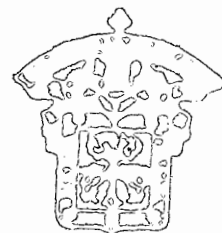
pónico a nivel comercial es alto, ya que por lo general, se tiene que comprar el material a usar como: sustrato, bombas, tuberías y a veces, hasta invernaderos (7,19 y 37).

- 3) SE REQUIERE CUIDADO CON LOS DETALLES: muchos de los fracasos en hidroponía a nivel comercial se han debido al descuido de algunos detalles, como el de no mezclar correctamente la solución nutritiva, usar tubería o depósitos galvanizados, lo que ocasiona toxicidad por zinc, darle demasiada o muy poca pendiente a las camas provocando asfixia en las raíces por humedad constante, no usar las cantidades adecuadas de micronutrientes, el no mantener el pH de la solución dentro de cierto rango, no analizar el agua utilizada para preparar la solución, etc. (37).

- 4) SE NECESITA CONOCER Y MANEJAR LA ESPECIE QUE SE CULTIVE EN EL SISTEMA: como en cualquier método de cultivo el desconocimiento de la planta y de su manejo es uno de los principales factores que ocasiona fracasos o pingües rendimientos (37).

- 5) 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 a la agricultura de riego ya que en esta última se necesita más agua que la indispensable para mantener a un sistema hidropónico de las mismas dimensiones.

METODOS DE CULTIVO EN HIDROPONIA



LABORATORIO
PARA EL ESTUDIO DE LA COLIFLOR
CENTRO DE DOCUMENTACION
E INFORMACION

4.1. ESTRUCTURA DEL SISTEMA HIDROPONICO.

Los sistemas de cultivo sin suelo son extremadamente versátiles y el único limitante es la imaginación propia. Un --obstáculo mayor en la hidroponia es el elevado capital ini--cial requerido para establecer un sistema comercial particu--lar si es completamente automatizado. La principal fuente motivadora es la búsqueda de materiales y sistemas más baratos.

Cualquier método de cultivo en hidroponia consta de los componentes siguientes: solución nutritiva, canales o mace--tas, sustrato, sistema de riego y drenaje (37).

- a) SOLUCION NUTRITIVA: después de muchos años de investigación se ha demostrado que no existe una fórmula única óptima. La concentración adecuada de varios elementos nutritivos depende de diversos factores: (38)
- 1) La parte vegetal en crecimiento, p/e. fruto o flor,
 - 2) Epoca y clima,
 - 3) Calidad del agua y,
 - 4) Etapa de desarrollo de la planta (las necesidades de plan--tas jóvenes difieren de las maduras).

Las soluciones nutritivas consisten de agua y la agrega--ción de sales minerales. Estas soluciones se preparan agre--gando los rangos óptimos de sales al agua. Las sales balan--ceadas con propiedad dan un ajuste correcto a la solución nu--tritiva. El uso de rangos incorrectos de sales en la solu--ción puede producir daños. Así pues, si una sal nutritiva no es obtenida temporalmente, es preferible irrigar con agua co--mún por 2-3 días que con esta solución inadecuada (38).

- b) CANALES O MACETAS: generalmente el canal es de 76 cm de an--

cho con un máximo de profundidad a los lados de 20 cm y una pendiente de aproximadamente 2.5 cm de los lados al centro -- del canal, (18). Schwarz (38) menciona entre 25 y 50 metros de largo como lo más adecuado.

De acuerdo con el método que se emplee, los canales o tinas hidropónicas como muchos autores les nombran, se pueden -- construir de materiales como: concreto, cemento, asbesto, madera, lámina de fierro galvanizada o sin galvanizar, lámina -- de aluminio, poliester, plástico, cemento, ladrillo, polivinilo, polietileno, carton asfaltado, etc. (37).

Con excepción de los plásticos y el cartón asfaltado, -- los demás materiales deben impermeabilizarse ya que, pueden -- sufrir alteraciones con la solución nutritiva alterando su -- composición química y su pH.

Se han utilizado macetas de 4 a 18 lts. de capacidad con bastante éxito para el cultivo de jitomate. La principal diferencia con el tamaño es, que entre más pequeña sea la maceta menor es la capacidad de retención de agua y por lo tanto menor el período entre riegos (18).

- c) SUSTRATO: uno de los factores que más afecta al cultivo hi-- dropónico es el sustrato sobre el cual se desarrollan las raíces, ya que dependiendo de su diámetro particular y de su capaacidad de retención de agua van a ser las necesidades de riego (10,31).

La planta absorbe el agua y los nutrientes que quedan retenidos en el sustrato después de un riego y la frecuencia de estos vendrá determinada por la necesidad de agua, el desequilibrio o falta de oxígeno en la solución nutritiva (31).

Además desde el punto de vista comercial, el sustrato debe ser de bajo costo de obtención y transporte, de fácil manejo y permitir el desarrollo de la planta encaminado hacia la mayor producción (10).

Trataré de hacer un bosquejo más adelante de las propiedades del sustrato en base a los factores antes mencionados.

- d) SISTEMA DE RIEGO: de acuerdo con Hanger (12), se puede seleccionar el tipo y la frecuencia que convenga al cultivo. Se tiene la oportunidad de:
- 1) Sub-irrigación.
 - 2) Superficial.
 - 3) Por goteo.
 - 4) Por inundación.
 - 5) Alimentación intermitente.
 - 6) Alimentación continua.

4.1.1. SUSTRATOS Y SUS PROPIEDADES.

Podemos definir un sustrato hidropónico como un material sólido y estable que permita el normal desarrollo del vegetal durante todo su ciclo de cultivo (10,31). A partir de esta definición, voy a hacer una exposición de las propiedades físicas y químicas que presentan los materiales que se utilizan como sustratos en hidroponía comercial.

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 una instalación. También la relación entre ambas nos va a dar da

tos de porosidad total y el volumen de líquido necesario para regar las camas, permitiendo obtener el volumen mínimo del -- tanque de solución de acuerdo con la frecuencia de riegos -- (10).

2. POROSIDAD TOTAL.

Viene dada por las relaciones entre las densidades absolutas y relativas. Se divide en tres porosidades diferentes (10, 17 y 19):

- a) MACROPOROSIDAD: poros que después de una inundación quedan ocupados por aire (tamaño superior a 8 M).
- b) MICROPOROSIDAD: poros que después de una inundación quedan ocupados por agua (tamaño inferior a 8 M).
- c) POROSIDAD OCLUSIVA: poros completamente cerrados al agua y al aire.

Desde el punto de vista de la hidroponia 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 hablamos de volumen de agua (10).
- b. La microporosidad es un concepto similar al de capacidad de retención de agua con la diferencia de que en el caso de la microporosidad hablamos de volumen de poros y aquí de volumen de agua (10).

3. POROSIDAD OCLUSIVA.

Desde el punto de vista físico se puede afirmar que todos los sustratos van a presentar cierta disgregación con el tiempo de uso (10).

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 si 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 (10,19).

5. GRANULOMETRIA.

Es un factor que oscilando dentro de unos límites normales de 5 a 10 mm. de \emptyset para los sustratos porosos y de 3 a 5 mm. de \emptyset para los compactos no presenta ningún problema. No obstante resulta peligroso el uso de sustratos no homogéneos, en especial, cuando existen considerables cantidades de materiales finos (10,19).

PROPIEDADES QUIMICAS:

1. CESION DE IONES A LA SOLUCION NUTRITIVA:

Podemos 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 podemos considerar que se está en un punto peligroso, ya que en 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 - - (10).

Respecto a los macronutrientes, los límites de toxicidad son considerablemente más amplios y normalmente puede lograrse un balance de la solución nutritiva de acuerdo con la cesión de un determinado ión (10).

2. RETENCION DE IONES DE LA SOLUCION NUTRITIVA.

Al igual que en el apartado anterior podemos decir que todos los materiales usados como sustratos en hidroponia presentan alguna retención de iones.

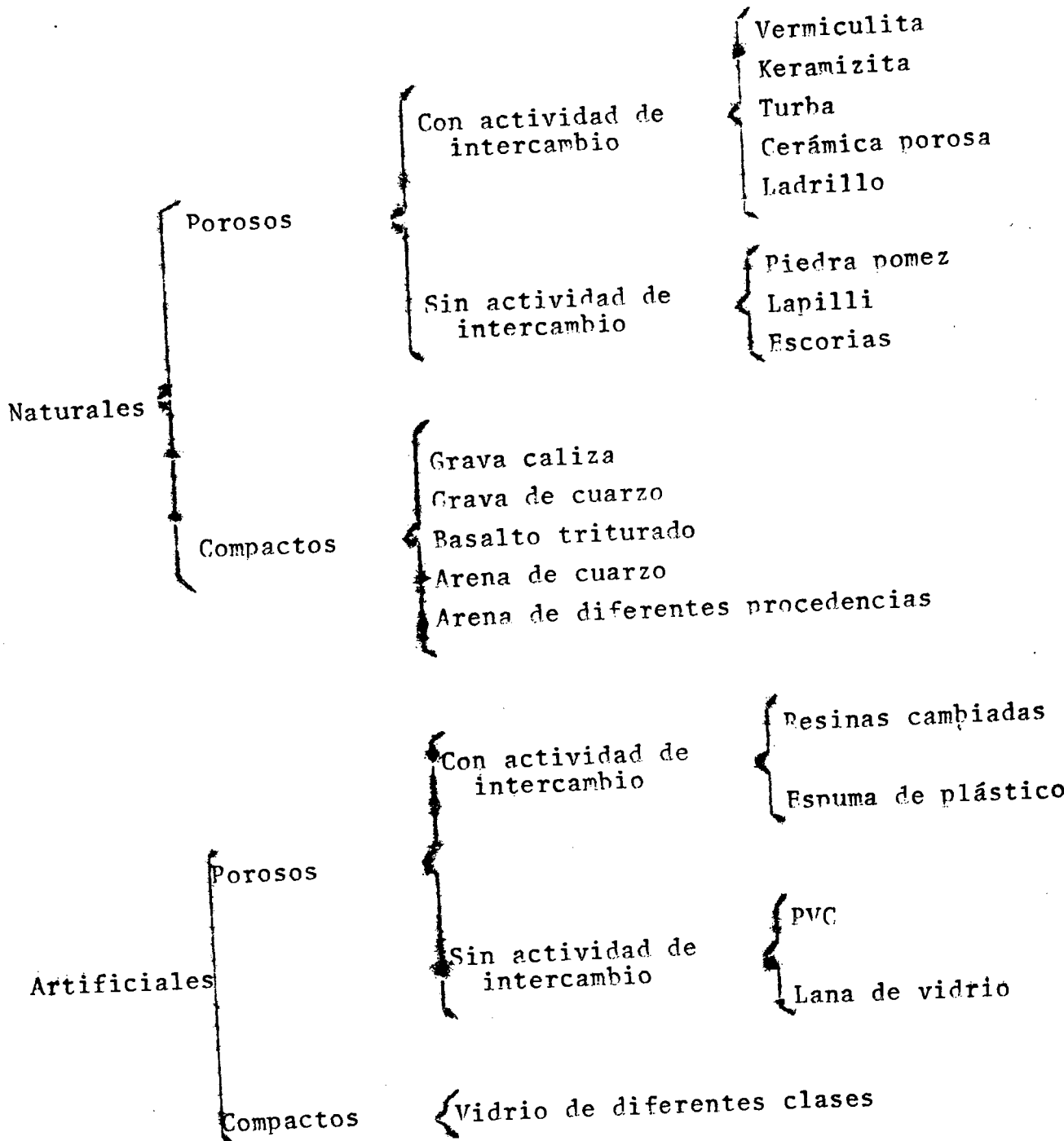
En primer lugar vamos a referirnos a los micronutrientes. En este caso el problema es menos acentuado que en el caso de la cesión, ya que además de poder aumentar el contenido de -- los mismos en la solución nutritiva, es posible la aplicación periódica de pulverizaciones foliares asociándolos a los tratamientos fungicidas y con los adherentes necesarios.

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

- a) CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO; 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 (10,17).

- b) CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA; 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 órgano-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 (10).
- c) CONTENIDO EN CALCIO; el contenido en calcio del sustrato 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 fosfato tricálcico que se sitúa alrededor de las partículas (10).

CLASIFICACION DE LOS SUSTRATOS USADOS EN HIDROPONIA (7,10).



4.1.2. ESTERILIZACION DE LOS MEDIOS DE CULTIVO.

Cuando las cosechas se cultivan durante períodos muy - - grandes de tiempo, sea cual fuere el medio de cultivo, se acu mulan una serie de microorganismos patógenos en dicho medio, y se eleva la posibilidad de que aparezca una enfermedad en - cada una de las cosechas sucesivas; y, si bien puede ser posi ble cultivar un gran número de cosechas sucesivamente sin ne cesidad de esterilización, es recomendable, no obstante, para obtener los mejores resultados del medio, el aplicar una este rilización entre cada una de las cosechas, para evitar cual-- quier posibilidad de transmitir las enfermedades de unas a -- otras (17,37).

Existen numerosos métodos de esterilización, entre los - que se pueden mencionar el uso de agua muy caliente (casi hir viendo), el uso de vapor de agua (82°C al menos durante una - hora), y/o el uso de varios productos químicos que a continua ción mencionaré. El uso de vapor de agua y el agua caliente son propios para cultivos hidropónicos en pequeña escala.

ESTERILIZACION CON BROMURO DE METILO.

Matará a la mayoría de los nemátodos, insectos, semillas de malas hierbas y algunos hongos, pero no tendrá ningún efec to contra el Verticillum. Se inyecta a razón de 20 grs. por m². La fumigación se debe aplicar bajo películas de polivini lo, o polietileno bien cerradas (para evitar que escape el -- gas) durante 48 horas mínimo. La penetración de este gas es muy buena, extendiéndose normalmente a una profundidad de 30 cms. Después de las 48 horas se descubre la superficie, se inunda con agua el sustrato, se drena y se puede utilizar 48 horas después de haberse drenado (17,37), recomienda que se espere de 10-14 días para obtener una buena aireación.

ESTERILIZACION CON ACIDO SULFURICO.

Se utiliza principalmente para el cultivo en grava. Se

aplica una dilución al 10% aplicando un litro por metro cuadrado.

El sustrato se deja en contacto con el ácido durante 18 horas, después de este tiempo, se drena y se lava dos o tres veces (7,37).

ESTERILIZACION CON VAPAM.

Es un fumigante soluble en agua, matará las malas hierbas, así como la mayoría de los hongos y nemátodos. Se aplica extendiéndolo sobre la superficie del medio a través de un sistema de riego o por medio de un equipo de inyecciones, en cantidad de un cuarto de Vapam en 7.5 a 11 litros de agua, -- que deberá ser repartida uniformemente sobre 9 metros cuadrados de la superficie. La siembra puede llevarse a cabo 2 semanas después de la aplicación (17).

ESTERILIZACION CON HIPOCLORITOS DE CALCIO Y SODIO.

La concentración es de 3,000 ppm para el hipoclorito de calcio y 10,000 ppm para el hipoclorito de sodio manteniendo la solución a un pH de 8 a 10.

Se debe inundar el sustrato y dejarlo con la solución -- por 24 horas, después de las cuales se lava el sustrato 3 ó 4 veces. No debe sembrarse antes de 38 horas (7, 17 y 37).

ESTERILIZACIÓN CON FORMALDEHIDO.

Es un buen fungicida, pero no tiene buen resultado para matar insectos o nemátodos. En su aplicación suele emplearse una mezcla de 4 lts. de formaldehido comercial (al 40%) en -- 200 lts. de agua, inundando el sustrato durante 16 a 24 horas teniendo el cuidado de cubrir el sustrato con el plástico o lona para evitar el escape de vapores.

Se drena y se lava de tres a cuatro veces y luego se espera 2 semanas para poder sembrar (7,17,37).

Además de los mencionados existen otras sustancias que - aunque menos utilizadas son también eficaces para esterilizar sustratos hidropónicos. Como ejemplo podemos mencionar:

- Agua oxigenada (al 0.3%), (37).
- Cloruro de calcio (0.5 a 1 Kgr./mt.²), (37).
- Permanganato de potasio (37).
- Cloropicrina (17) y,
- Clorofenatos de sodio.

4.2. CLASIFICACION DE LOS METODOS DE CULTIVO EN HIDROPONIA.

4.2.1. CULTIVO EN SOLUCION NUTRITIVA.

4.2.1.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

El cultivo en solución nutritiva recibe también los nombres de CULTIVO EN AGUA, ACUACULTURA, QUIMIOCULTURA o NUTRICULTURA.

Ellis y Swaney (1963) definen al cultivo en agua diciendo que "en su sentido más puro es un sistema que involucra el crecimiento de flores y vegetales sumergiendo sus raíces en una solución acuosa de nutrientes" (37).

El origen de cultivar plantas sin ninguna tierra fue reemplazar completamente la tierra por una solución nutritiva que significa agua, en la cual todas las condiciones tienen que ser realizadas. A esto se le da el nombre de cultivo en agua. La forma más sencilla 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 (Fig. 1). El famoso científico polifacético Robert Boyle de Irlanda ya trató este método alrededor del año 1665 (44).

Alrededor del año 1850, el método de cultivo en agua ha sido utilizado en el estudio de la nutrición de las plantas. Disolviendo diferentes sales en la solución nutritiva, se ha descubierto qué clases de elementos necesita una planta para su crecimiento y desarrollo. De esta manera el cultivo en agua ha sido un trampolín para el uso de fertilizantes minerales en agricultura y horticultura (44).

Fue en 1929 cuando el Profr. Gericke en los Estados Unidos introdujo el método de cultivo en agua comercialmente para la producción de jitomate. A pesar de todos los resultados fantásticos mencionados en los periódicos, pronto se evi-

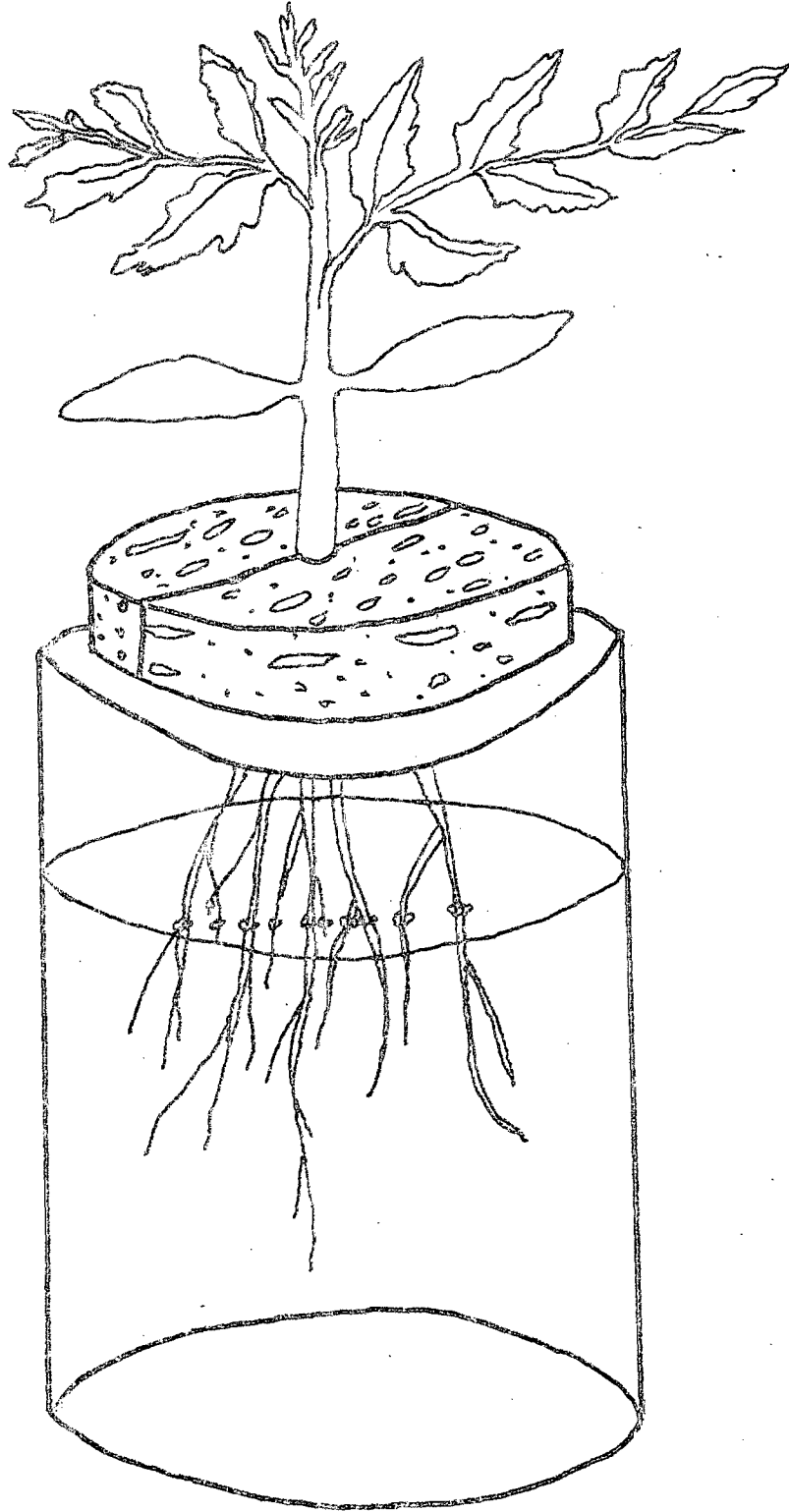


FIG. 1. LA FORMA ORIGINAL DEL CULTIVO EN AGUA.

denció 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 (44).

De todos los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. En el cultivo en agua las raíces de las plantas están suspendidas en un medio líquido (solución de nutrientes), mientras que a partir de la corona o cuello radicular las plantas se mantienen en una cama muy fina de medio inerte (17).

4.2.1.2. PROBLEMAS TECNICOS.

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

1. CARACTERISTICAS NUTRICIONALES: en general, las plantas son mucho más susceptibles a las condiciones adversas de pH de la solución nutritiva, bajo cultivo en agua que en cultivo en grava o arena. Ellis y Swaney (1963) mencionan que probablemente una razón para este efecto, sea el que los fosfatos pueden recubrir las superficies de los medios sólidos de cultivo ejerciendo con esto una acción estabilizadora de la acidez, de manera que cualquier cambio extremo que ocurra en la solución, no se reflejará rápidamente sobre las raíces de las plantas en contacto con las partículas de arena o grava (37).

Si el nivel de fosfatos en la solución nutritiva es elevado, ocurre la precipitación excesiva de elementos menores, principalmente fierro. El fierro es a menudo, difícil de mantener en un estado asimilable en la solución nutritiva. Se sugieren por lo tanto, frecuentes adiciones (una o dos veces por semana), en pequeñas dosis de alrededor de una parte por millón, para asegurar el abastecimiento adecuado de fierro sin llegar a la toxicidad (37).

2. CARACTERISTICAS FISICAS: para favorecer el crecimiento de -- las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas tales como:

a) AIREACION DE LAS RAICES; esta puede conseguirse de varias -- formas: La primera, forzando la aireación (con una bomba o -- compresor) y se utiliza para hacer burbujear el aire dentro -- de la solución de nutrientes a través de una tubería perforada que se coloca en el fondo de la bancada o contenedor. La segunda forma será haciendo circular la solución de nutrien-- tes por medio de una bomba a través de las bancadas, de forma que deba volver al tanque de nutrientes por un nuevo goteo.

El mejor método consiste en dejar un espacio de aire entre la superficie de la misma y la parte inferior del lecho -- que soporta a las raíces, de tal manera que las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución (17).

b) OSCURIDAD EN LAS RAICES: Las plantas pueden funcionar normal-- mente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100% de humedad relativa en ésta; no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que dará lugar a una competencia en la toma de nutrientes, reducirá la acidez de la solución, creará colores, competirá con el -- oxígeno durante la noche, e introducirá productos tóxicos a -- través de su descomposición, los cuales interferirán normal-- mente en el crecimiento de éstas. Para eliminar el crecimen-- to de las algas se construyen las bancadas o contenedores con material opaco (17).

c) SOPORTE DE LAS PLANTAS: las plantas pueden ser sostenidas -- utilizando una bandeja de malla que se coloque sobre la solución de nutrientes (ver Fig. 2) (17).

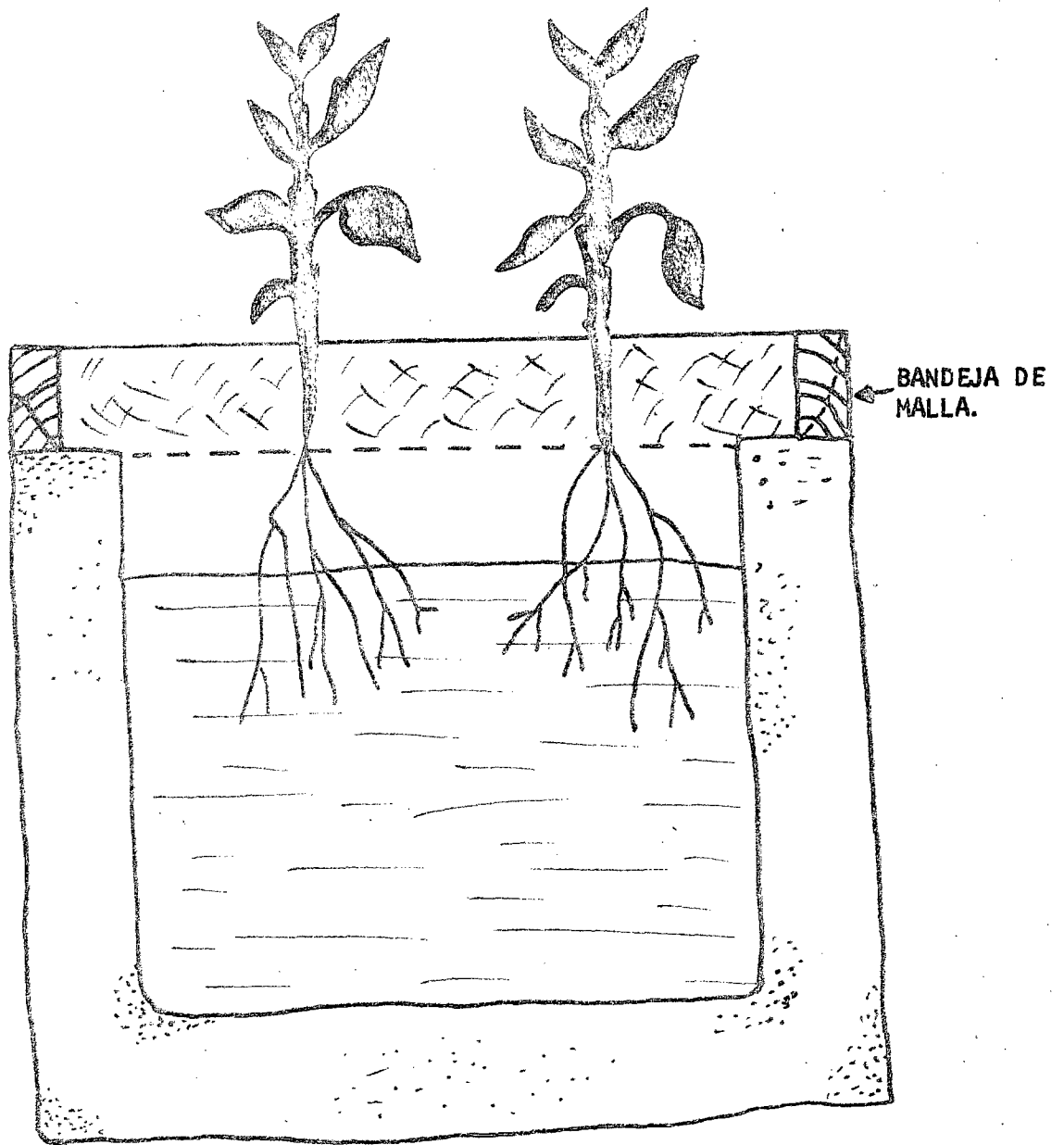


FIG. 2. SECCION DE UNA BANCADA TIPICA DE CULTIVO EN AGUA

- d) CIRCULACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA: es una práctica comúnmente recomendada, ya que favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. Es de suponerse que el movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su medio ambiente. Desde luego que el movimiento debe ser lo suficientemente lento para no dañar a las raíces (37).
- e) CALENTAMIENTO: el cambio brusco de temperatura del día a la noche, típico de los climas templados, puede ser un problema serio para el cultivo en agua ya que no hay ningún agregado que amortigue su efecto sobre las raíces. De los estudios - que se han efectuado se ha mostrado que el intervalo crítico es de 10 a 12° C para el crisantemo, y para el jitomate de - 15°C pero esta tiende a variar con la etapa fisiológica que - presente este último.(6).

4.2.1.3. METODOS DE CULTIVO EN PEQUEÑA ESCALA.

En pequeña escala, el cultivo en agua puede efectuarse en un frasco corriente de mermelada. El frasco deberá estar cerrado con un gran corcho o tapadera de goma a través del -- cual se colocarán dos boquetes, uno más pequeño para situar - en él, el tubo de aireación dentro de la solución y otro ma-- yor a través del cual se colocará la planta. Las plantas se colocan en el mayor de los huecos y se soportan apretando el tallo en él, bien sea con algodón con lana de cristal o espuma plástica. Bajo el cuello del tarro deberemos dejar un espacio suficiente de aire y el resto de éste lo llenaremos con una solución de nutrientes (Fig. 3). El aire burbujeará dentro de la solución debido a la unión del tubo de introducción de éste a una pequeña bomba de acuario. Así mismo, pueden -- colocarse un gran número de tarros conectados con dicha bomba de aire, y cultivarse en cada uno de ellos una planta. Los - tarros deberán estar cubiertos con una hoja de aluminio o -- cualquier otro material opaco para evitar la luz dentro de la

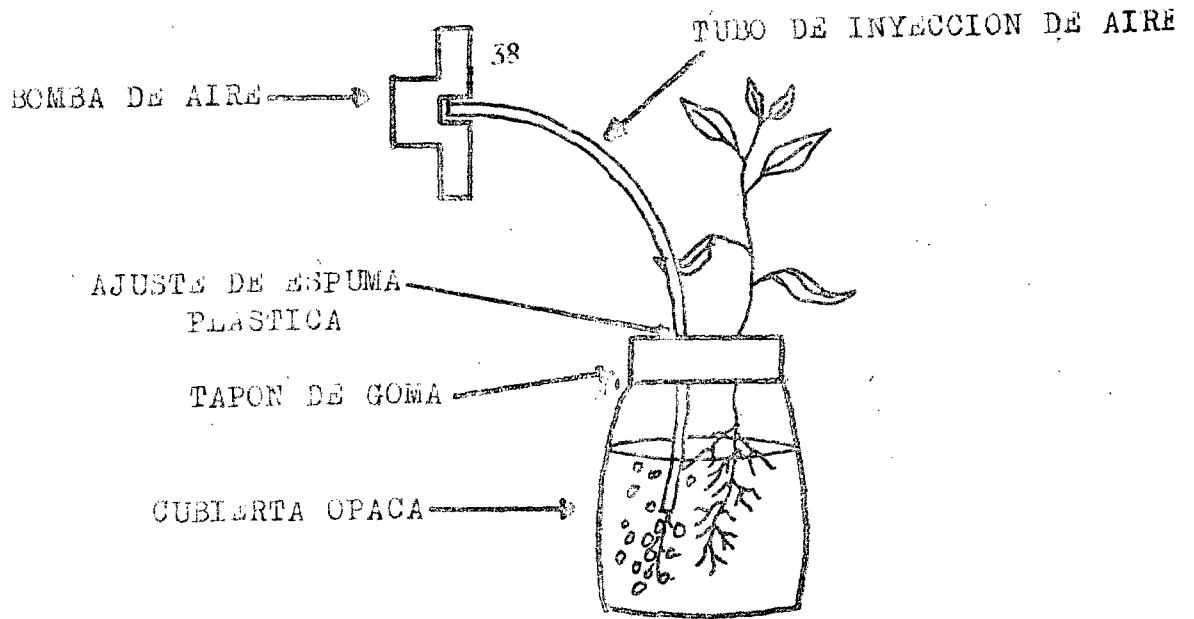


FIG. 3. UNIDAD CASERA CON UN JARRO DE CRISTAL

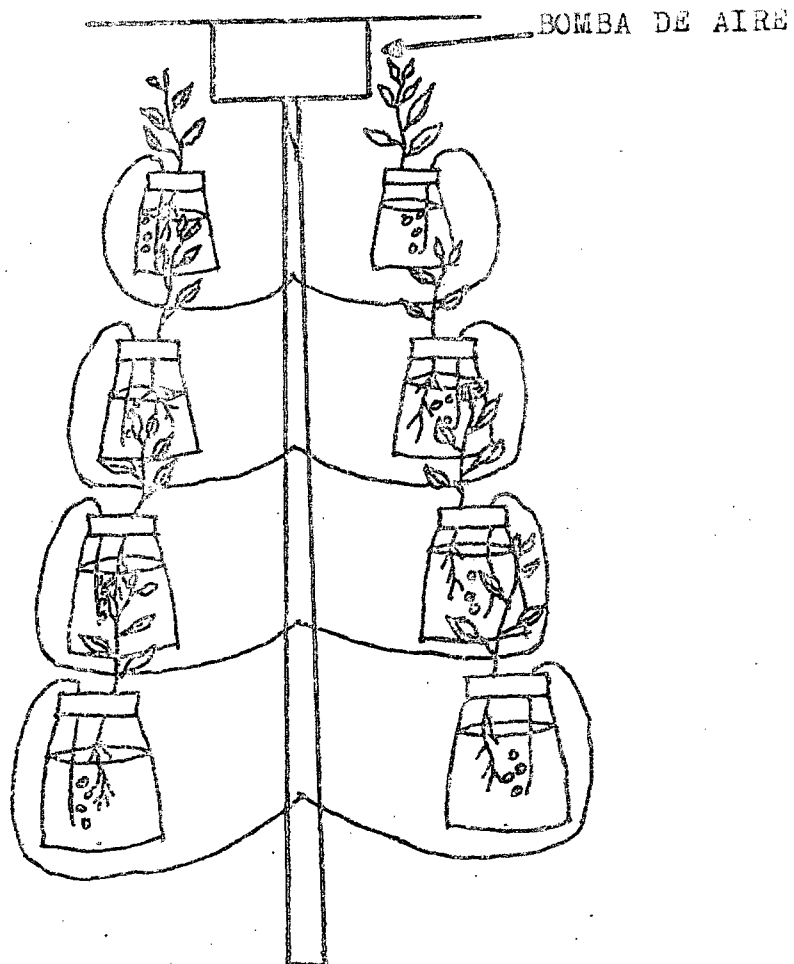


FIG. 3-A SERIE DE UNIDADES CASERAS CONSTRUIDAS CON JARROS DE CRISTAL UTILIZADAS COMO CULTIVO EN AGUA.

solución (17).

Otra forma de obtener una unidad mayor de cultivo hidropónico casera basada en las unidades comerciales consiste en utilizar un acuario, o bien una tubería de plástico o una caja de madera que esté en su interior cubierta con vinilo. -- Una bandeja de plástico del tipo utilizado para las siembras comerciales, con una serie de boquetes pinchados en el fondo, puede utilizarse como bandeja portadora. Dicha bandeja puede rellenarse con cualquier tipo de material poroso y colocarse dentro del recipiente para el cultivo, fijando sus bordes al de éste, tal como se muestra en la figura 4. Al igual que -- con los tarros, puede utilizarse una bomba de acuario para -- airear la solución de nutrientes. En una bandeja de plástico de ese tipo deberá usarse un medio fino tal como la vermiculita, la perlita o la turba, de forma que la siembra se efectúe directamente en este medio (17).

Una vez efectuada la siembra, el medio deberá ser humedecido, y la solución de nutrientes del recipiente del cultivo deberá estar justo a nivel del fondo de la bandeja. Diariamente se deberá de regar el medio para mantenerlo humedecido o bien cubrir éste con una bandeja de polietileno para mantener la humedad hasta que las semillas germinen. El nivel de la solución de nutrientes deberá mantenerse cuando mucho a unos 0.60 cm. por debajo del fondo de la bandeja, hasta que las raíces de la planta se hayan desarrollado suficientemente para permanecer dentro de dicha solución. Cuando las plantas hayan comenzado ya su desarrollo, la solución de nutrientes deberá mantenerse de 2.5 a 5 cm. por debajo del fondo de la bandeja (17).

4.2.1.4. METODOS DE CULTIVO EN MEDIANA Y GRAN ESCALA.

W. F. Geriecke (1929), en la Universidad de California, -

desarrolló un método práctico de cultivo en solución, susceptible de ser utilizado para la producción comercial de hortalizas y flores (17, 37).

Este método consiste básicamente en tanques o tinas hechas de cualquier material adecuado (madera, lámina, concreto, asbesto, etc.), debidamente impermeabilizados. A unos 6 a 12 cm. del borde superior de cada tina se fija una malla de alambre con perforaciones de 1 cm. a la cual se le han dado dos manos de pintura de asfalto. Esta malla sirve de soporte a las plantas en crecimiento, cuyas raíces descienden a través de los agujeros de la misma hasta sumergirse en la solución nutritiva, misma que en el tanque, tiene unos 10 a 15 cm de profundidad. Encima de la malla se coloca una cubierta de virutas o hebras de madera, turba vegetal, aserrín, lignito, etc., de 5 a 10 cm. de espesor según se discutió anteriormente, y cuyas funciones son impedir que la luz llegue a la solución, ayudar en el soporte de las plantas y permitir hasta cierto grado, la siembra directa de semillas: sobre todo de plantas susceptibles al trasplante. La aireación se efectúa ajustando el nivel de la solución para dejar a las raíces con un pequeño espacio de aire (menos de 5 cm). Eventualmente, se pueden hacer perforaciones en la tina, a la altura del espacio, para favorecer la entrada del mismo a las raíces (ver figura 4-A y B) (37).

A pesar del éxito de estos experimentos, el método de Gericke no obtuvo la popularidad deseada, debido principalmente al alto grado de experiencia práctica y habilidad técnica requeridas para operarlo económicamente (37).

Debido a la pobre técnica utilizada, o más comunmente a la falta de aireación del sistema radical producto de varios días nublados continuos, se han desarrollado métodos de cultivo en agua con aireación forzada, de las cuales se discuten brevemente, dos de los más usados:

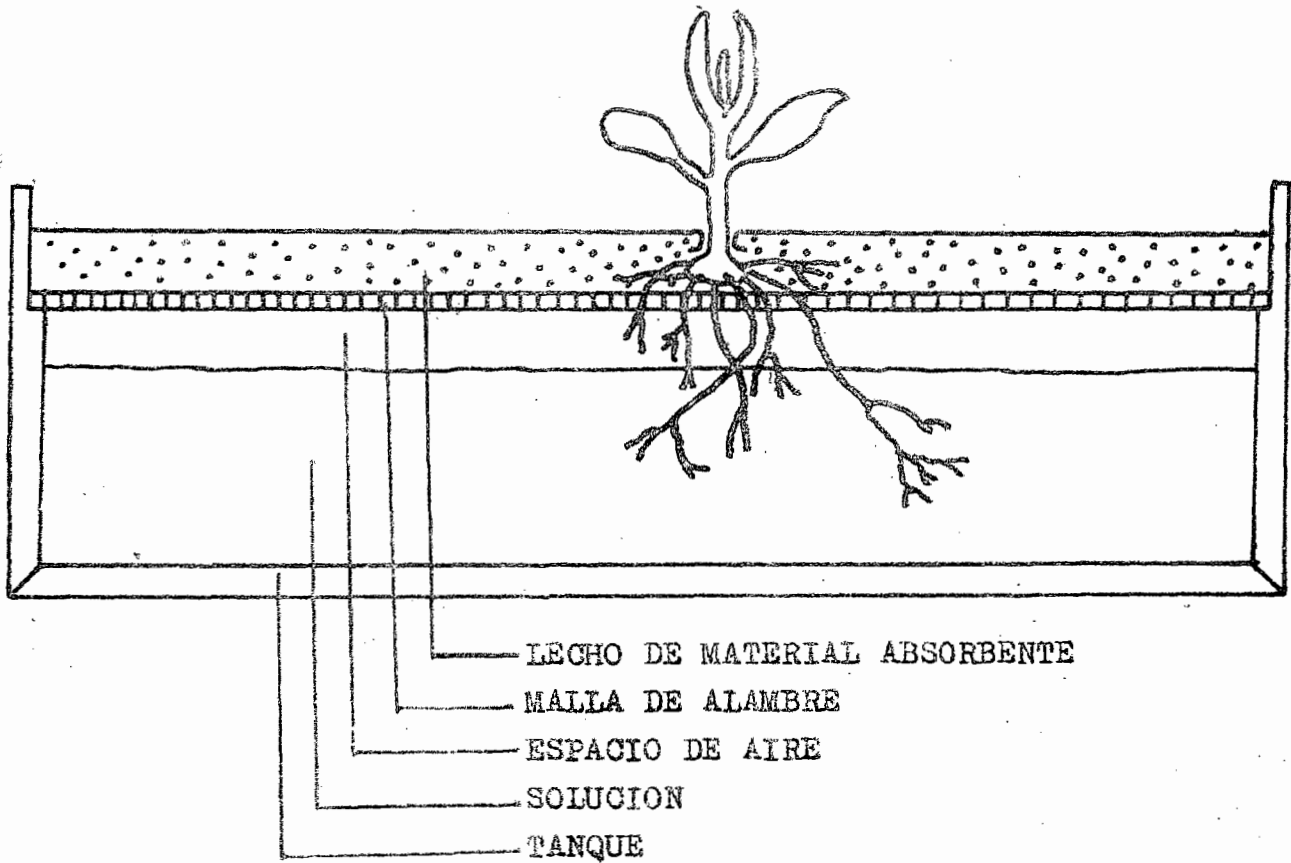


FIG. 4-A. METODO DE GERICKE PARA CULTIVO EN SOLUCION (VISTA DE PERI GERICKE (1946).

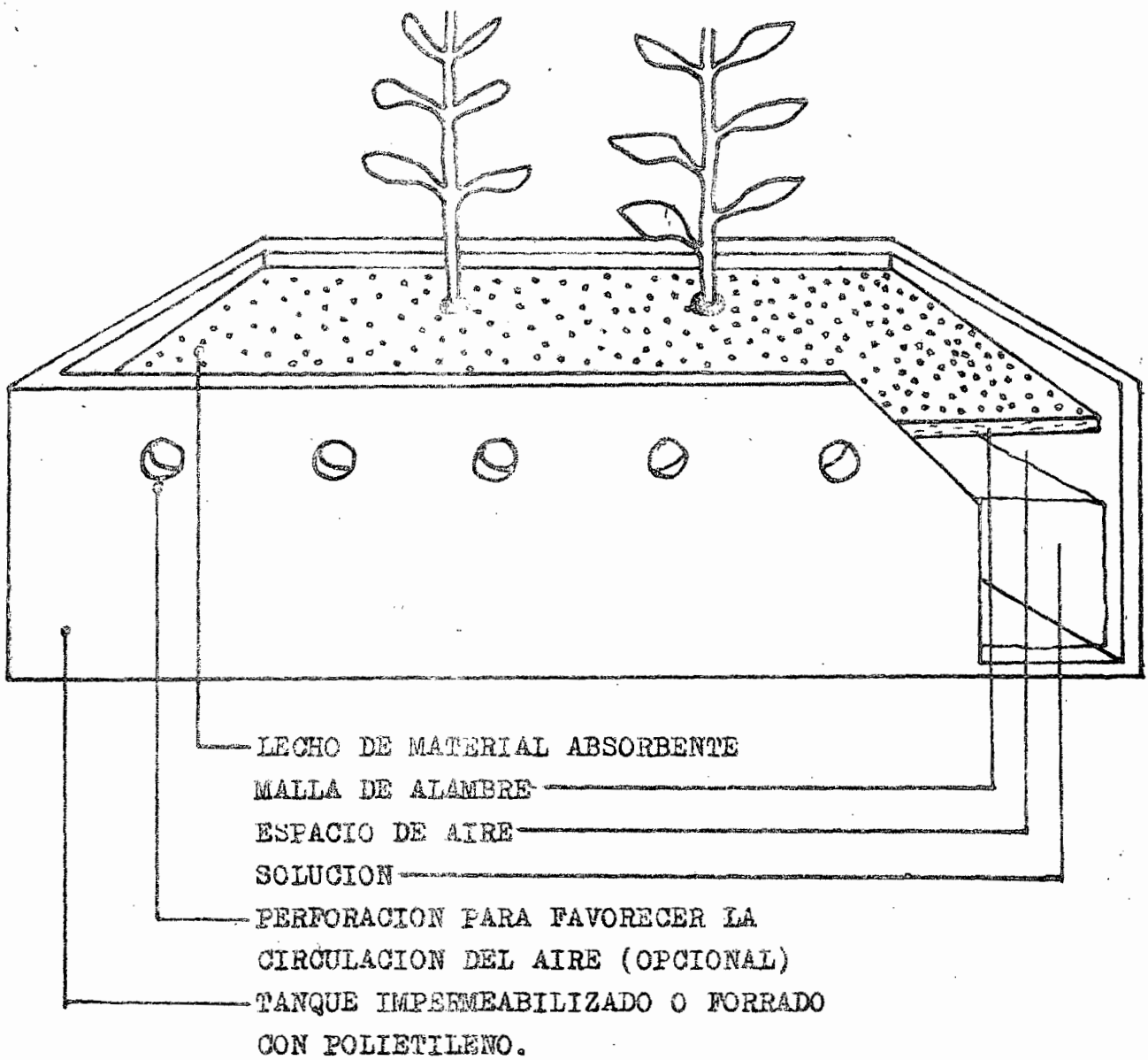


FIG. 4-B. METODO DE GERICKE PARA CULTIVO EN SOLUCION (VISTA DE FRENTE GERICKE (1946)).

a) METODO DE CULTIVO EN AGUA CON AIREACION FORZADA POR BOMBA.

Este método propuesto por H. F. Hollis (1964), difiere del de Gericke, en que la aireación, además de dejar un espacio para las raíces, se lleva a cabo forzando aire por medio de una bomba a través de un pequeño tubo de cobre o plástico con pequeñas perforaciones (3 mm.), hechas a intervalos de -- aproximadamente 30 cm., este tubo recorre el fondo del tanque y burbujea aire a través de las perforaciones (ver figura 5) (37).

b) METODO DE CULTIVO EN AGUA CON AIREACION DE CASCADA.

Se diferencia de los métodos anteriores en que la solución circula por una bomba y se forza a través de una tubería que finalmente la descarga de nuevo al tanque desde una altura suficiente como para que la solución se oxigene adecuadamente (ver figura 6) (37).

4.2.1.5. OPERACIONES GENERALES.

TRASPLANTES. Cuando no se cuenta con un lecho de material absorbente, y en muchos casos aunque se cuente con él, se -- tendrán que trasplantar plantas nacidas en suelo, arena u -- otro material. Para ello se debe tener cuidado o de colocar a la plántulas o esquejes de tal manera que aproximadamente -- la mitad de la longitud de las raíces penetre en la solución nutritiva, mientras que el resto permanezca en el espacio de aire y en el lecho de material absorbente; de no existir este último, casi toda la raíz deberá estar sumergida en la solución. Cuando se puede sembrar directamente o las plántulas -- sean muy jóvenes, se aplicará solución nutritiva al material del lecho para humedecerlo y estimular el crecimiento radical (17, 37).

MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA. A menudo se recomienda que las adiciones de nutrientes que se hagan a la solución nutritiva sean a través del material absorbente del lecho (17).

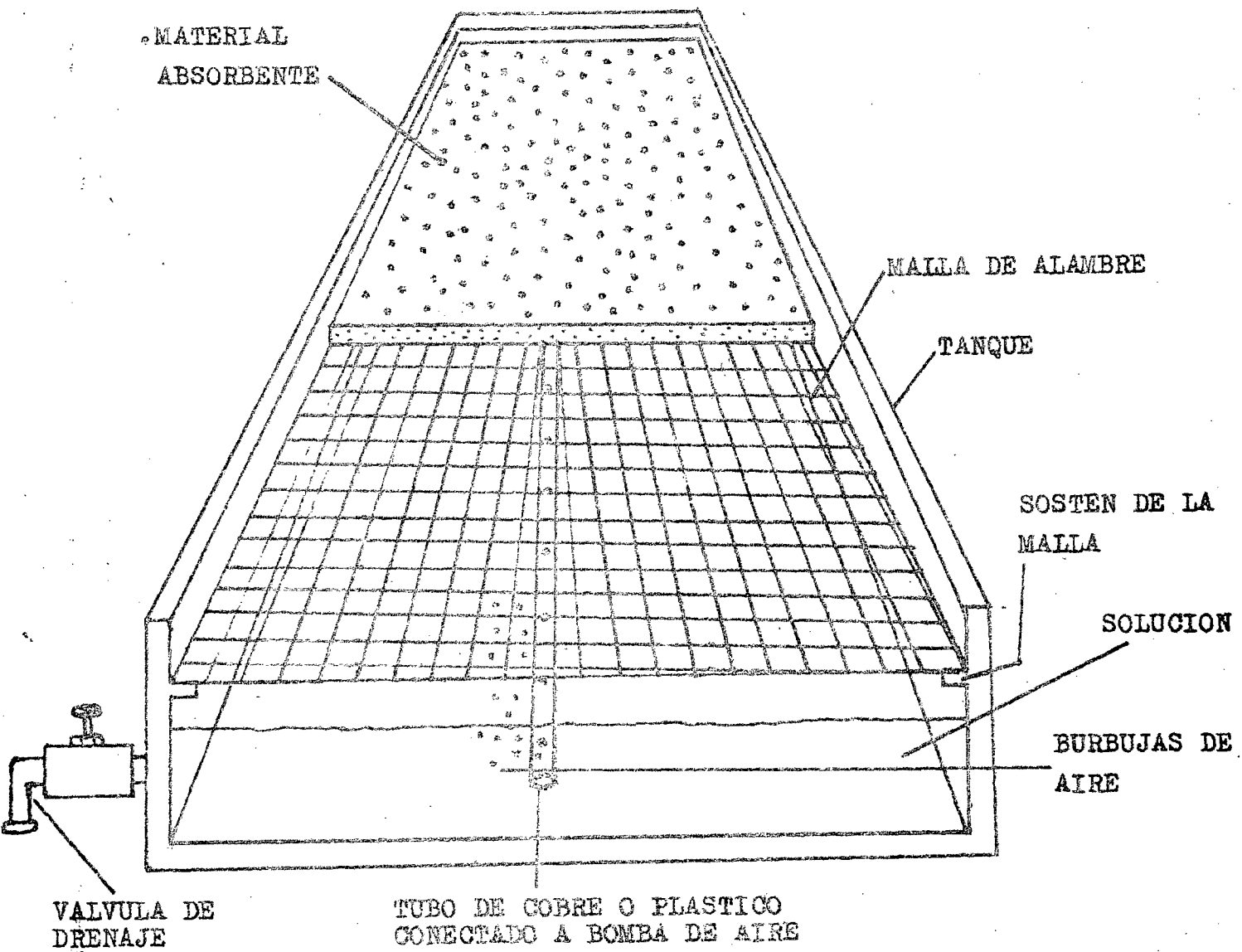


FIG. 5. METODO DE CULTIVO EN SOLUCION CON AIREACION FORZADA POR BOMBA. HOLLIS (1964).

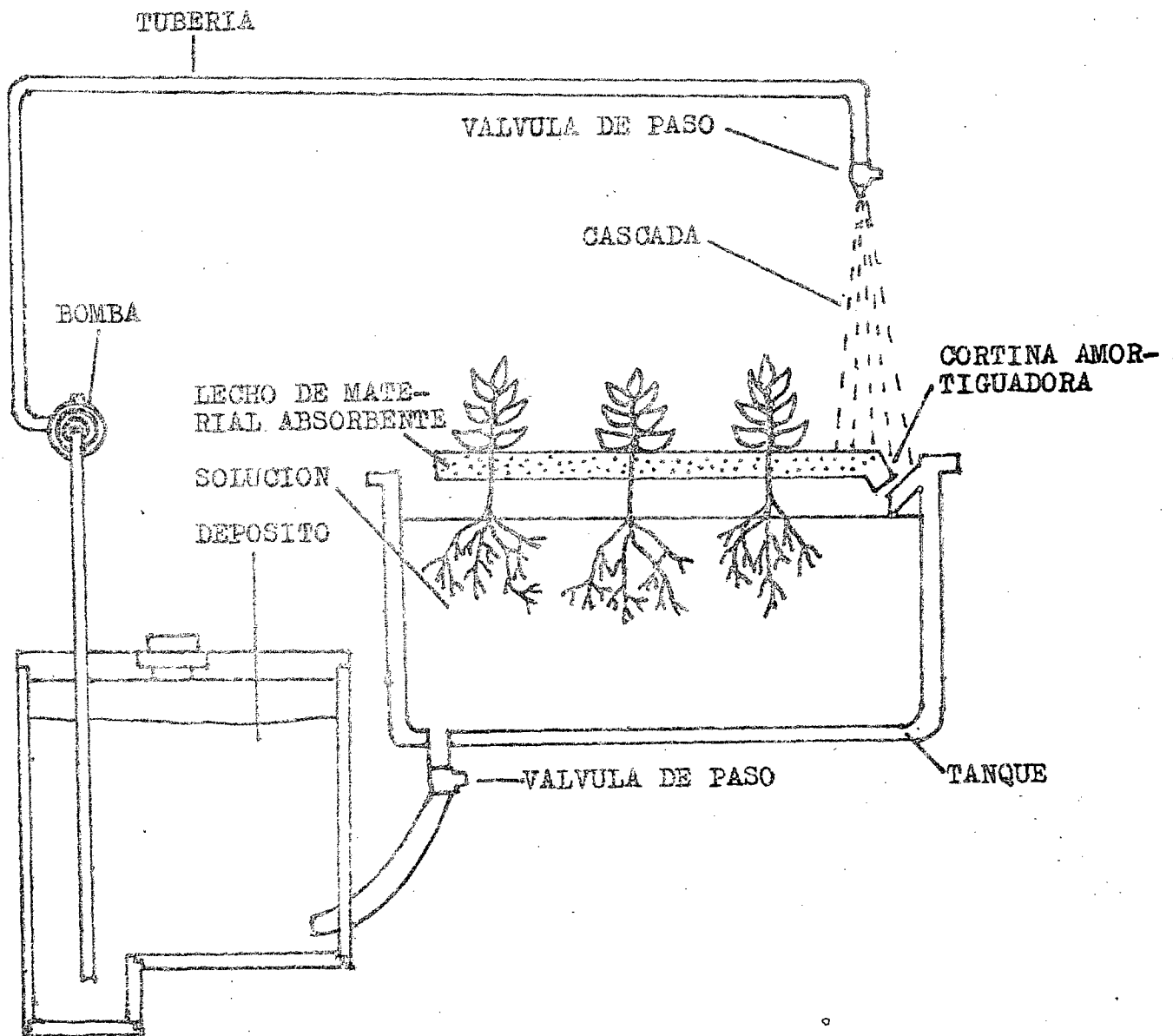


FIG. 6. METODO DE CULTIVO EN SOLUCION CON AIREACION DE CASCADA PENNINGSFELD Y KURZMANN (1975).

El nivel de la solución se mantiene de 1 a 2 cm. por debajo de la malla de alambre que soporta el lecho, a medida -- que crece la raíz, esta distancia se va aumentando progresivamente hasta llegar a un máximo de 5 cm (37).

Al utilizarse métodos de cultivo a gran escala, la solución debe analizarse aproximadamente cada ocho días con el -- objeto de restituir los elementos que las plantas consumen, o bien sustituirse por completo cada 10 a 15 días (práctica no recomendable en cultivo en solución, debido a que resulta más caro que el análisis químico) (37).

Cabe recordar que, sobre todo a nivel comercial, se debe revisar continuamente el pH y hacer adiciones de fierro cada dos días (1ppm) (37).

Schwarz (38) recomienda usar soluciones con una fuerza -- de 1/3 a 1/2 de la concentración de una solución nutritiva -- hidropónica estándar.

EVALUACION DEL CULTIVO EN SOLUCIONES CON RESPECTO A OTRAS -- CATEGORIAS DE CULTIVO HIDROPONICO.

VENTAJAS SEGUN SANCHEZ (37).

1. Ahorro en fertilizantes.
2. Los cultivos que tienen requerimientos grandes de agua -- crecen mejor con éste que con otros métodos de cultivo hidropónicos (pepino por ejemplo).
3. No requiere de un sistema de bombeo, ni tanque de almacenamiento, como el cultivo en grava y algunos métodos de -- cultivo en agregado.

DESVENTAJAS SEGUN SANCHEZ (37).

1. Demanda mucha habilidad y experiencia técnica, así como -- más conocimientos de química general y fisiología vegetal que otros métodos de cultivo hidropónico.

2. Se requiere de un riguroso control de la solución (fierro, pH, fosfatos, etc.).
3. Requiere de un eficiente sistema de aireación.
4. Se debe proporcionar una temperatura adecuada y evitar los cambios bruscos de la misma en la solución nutritiva.
5. El sistema de soporte para las plantas es generalmenee -- caro.
6. Deberá tenerse más cuidado con los detalles que con cualquier otro sistema hidropónico de producción.
7. Existe un alto grado de riesgo en su manejo por ser el --- sistema hidropónico que tiene menos capacidad de amorti--- guamiento.

4.2.2. CULTIVO EN AGREGADO.

4.2.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

De acuerdo con Harris (1974) y Schwarz (1975), este sistema de cultivo hidropónico comprende todos aquellos métodos - en los que las plantas crecen en un sustrato con propiedades de retención de humedad (arena, perlita, vermiculita, aserrín etc.).

Cabe aclarar, que el nombre cultivo en agregado es convencional, y que sólo tiene por objeto simplificar el estudio de los métodos hidropónicos que utilizan sustratos absorbentes (algunos autores hablan específicamente de cultivo en arena, cultivo en vermiculita, etc.) (37).

El cultivo en agregado, es el sistema más simple de cultivo hidropónico. Las raíces se desarrollan y crecen en un medio inerte, generalmente con partículas de tamaño pequeño y capacidad de retención de humedad (37).

Junto a un buen suministro de agua y elementos nutritivos, tiene una gran importancia en los cultivos hidropónicos

la respiración de las raíces. Son pues, sólo aptos como sustratos en estos cultivos aquéllos materiales que a causa de su granulometría y estabilidad estructural ofrecen la posibilidad de una aireación elevada (34).

Se debe procurar, en la zona de las raíces, una proporción del 30% de materiales y un 70% de espacio vacío, el cual será ocupado a partes iguales por aire y agua, pudiendo reducirse la parte sólida del sustrato hasta en un 10%. Mientras más elevada es la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes deberán ser los riegos (34).

4.2.2.2. PROBLEMAS TECNICOS.

Generalmente los problemas técnicos relativos al cultivo en agregado, son más fáciles de resolver que aquellos relativos al cultivo en grava. Las características físicas difieren notablemente del cultivo en solución, teniendo cierta similitud a las de cultivo en grava (37).

A continuación, se discuten brevemente los principales problemas técnicos del cultivo en agregado:

A) CARACTERISTICAS NUTRICIONALES.

A.1. ACIDEZ DE LA SOLUCION.- Bajo condiciones experimentales y en la práctica comercial, se ha observado un crecimiento adecuado de las plantas en agregados (principalmente arena), irrigados con soluciones que oscilan desde fuertemente ácidas hasta ligeramente alcalinas. Sin embargo, la mejor producción para la mayoría de los cultivos, se sitúa bajo condiciones de pH que van desde mediana hasta ligeramente ácidas. Si el agregado no es exageradamente ácido o alcalino y si la solución está bien balanceada, la acidez permanecerá dentro de los límites correctos durante un período de tiempo relativamente largo. En cualquier caso el pH se puede ajustar añadiendo a una

solución alcalina, ácido sulfúrico diluido o ácido fosfórico. Si se da el caso de tener una solución muy ácida se puede corregir añadiendo un poco de hidróxido de potasio o una sustancia con propiedades similares (12,17,18,20,21,37).

A.2. NIVEL DE FOSFATOS.- Las plantas que crecen en arena y posiblemente en perlita, toleran altos niveles de fosfato en la solución nutritiva, en comparación a los sistemas de cultivo en agua y en grava. Esto se debe a que en la arena el exceso de fosfatos se precipita en forma de compuestos insolubles. Sin embargo, no hay ninguna razón para mantener un nivel mayor a los cinco milimoles. Es posible tratar a la arena con una solución concentrada de fosfatos antes de plantar, y luego omitir aplicaciones subsecuentes de este radical durante una buena parte o la totalidad del ciclo de vida del cultivo. (1,17, -- 20, 24, 37).

A.3. NIVEL DE FIERRO.- Generalmente el mantener un abastecimiento correcto de este elemento en este sistema de cultivo no ofrece ningún problema. La adición de 1 a 5 ppm. a la solución nutritiva parece ser suficiente (37).

Ellis y Swaney mencionados por Sánchez (37), mencionan que se puede añadir fierro en forma de magnetita a la arena, antes de sembrar las plantas (1 al 10% del volumen de magnetita).

B) CARACTERISTICAS FISICAS: los problemas relativos a las características físicas comprenden principalmente: tipo de agregado, aireación, drenaje, aplicaciones de la solución, lavados y lluvia.

B.1. TIPO DE AGREGADOS:- Los más frecuentemente utilizados son los siguientes:

B.1.1. ARENA.- De las diversas arenas existentes, la de cuarzo es la

más adecuada como sustrato para los cultivos hidrónicos. - No obstante su costo suele ser elevado y por tanto, se utiliza normalmente sólo para ensayos (34).

Es este un material muy variable en tamaño, forma, composición y color. Para fines de este trabajo se considera como arena todo material inorgánico natural cuyo diámetro quede -- comprendido entre 0.2 y 2.5 mm. Las partículas pueden ser redondas o anguladas (37).

La mejor arena a utilizar tal vez sea la de río, siempre y cuando su contenido en cal sea inferior al 20%; las arenas ricas en cal no son recomendables por su capacidad para motivar cambios en las soluciones nutritivas (34).

Deberán evitarse los agregados blandos y con tendencia a desintegrarse; no obstante, es imposible de evitar el uso de estas partículas en la zona donde sólo existe arena caliza. En estos casos deberá efectuarse diariamente la adición de nutrientes y el ajuste de pH (17).

B.1.2. PERLITA.- La perlita es un material silíceo de origen volcánico, extraído de los ríos de lava. El mineral recién sacado - se muele y cierne, calentándole a continuación en hornos a -- unos 760° C, temperatura a la cual se evapora el poco de agua contenida en las partículas, expandiéndose éstas a otras más pequeñas con aspecto de semillas esponjosas muy ligeras, con un peso de 80 a 110 Kgrs. por metro cúbico. Las altas temperaturas del proceso nos dan un material estéril. En las aplicaciones hortícolas el tamaño de partículas más utilizado es el de 1.5 a 3 mm. La perlita absorbe de tres a cuatro veces su peso en agua, siendo esencialmente neutra con un pH de 6.0 a 8.0; a diferencia de la vermiculita, no tiene capacidad de intercambio iónico y no contiene nutrientes minerales. Es -- muy útil para incrementar la aireación de las mezclas, ya que tiene una estructura muy rígida, que mientras dura da lugar a

que el tamaño de las partículas vaya disminuyendo conforme éstas se parten con el uso. El tamaño más fino es útil como medio de germinación, mientras que las partículas mayores u horfícolas son las más apropiadas para mezclarlas con turba a partes iguales, para bancadas de enraizamiento o a partes iguales con arena y turba para cultivo (17).

B.1.3. PUMITA.- La pumita, al igual que la perlita, es un material silíceo de origen volcánico, pudiendo utilizarse después de molido y cernido sin necesidad de calentarse. Esencialmente, tiene las mismas propiedades de la perlita, aunque es más pesado y no absorbe tanta agua, puesto que no ha sido deshidratado. Se utiliza en mezclas de turba y arena para el cultivo de plantas en maceta (17).

B.1.4. VERMICULITA.- Es un mineral con la estructura de la mica, y se prepara expandido por calor en hornos a temperaturas cercanas a los 1,100°C. El agua se convierte en vapor, separándose los estratos y formando trozos pequeños y porosos como esponjas, con la forma de una semilla. El calentamiento a tales temperaturas da lugar a una esterilización perfecta. Químicamente, la mica es un silicato hidratado de aluminio, magnesio y hierro. Al expandirse toma un peso muy ligero (96---160 Kilogramos por metro cúbico) con reacción neutra, siendo insoluble en agua, si bien es capaz de absorber grandes cantidades de ésta (400 a 535 litros por metro cúbico). Tiene una capacidad de intercambio de cationes relativamente alta y por tanto, puede retener nutrientes en reserva e irlos cediendo posteriormente. Sus contenidos en magnesio y potasio, aunque bajos, son fácilmente disponibles por las plantas (17).

B.1.5. ASERRIN.- Como este material posee propiedades y aplicaciones semejantes a la vermiculita, lo mencionado anteriormente es válido para este caso; sólo cabe mencionar al escogerse este material como sustrato: deberá tenerse garantizada su esterilidad y tomarse en cuenta la posibilidad de que estén presen-

tes resinas fitotóxicas provenientes de ciertas maderas (37).

El aserrín del abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) y del tsuga (*Tsuga heterophylla* (Raf) Sarg) -- han dado los mejores resultados. La tuya roja (*Thuja plicata* D.) es tóxica y no deberá utilizarse (17).

B.1.6. TURBA.- La turba consiste en vegetación acuática, pantanosa o de ciénega parcialmente descompuesta. La composición de los diferentes depósitos de turba varía ampliamente, dependiendo de la vegetación original, estado de descomposición, contenido mineral y grado de acidificación (17).

De los tres tipos de turba; turba de musgo, de cañaveral y de humus, la primera es la menos descompuesta, y proviene de *Sphagnum*, *Eriophorum* y otros musgos, teniendo una alta capacidad de retención de humedad (diez veces su peso en seco), con acidez elevada (pH de 3.8 a 4.5) y conteniendo una pequeña cantidad de Nitrógeno (cerca de 1%), aunque con poco o nada de fósforo y potasio. La turba que proviene de otras clases de musgos se deshace con facilidad, comparada con la originada por *Sphagnum*, siendo pues, ésta preferible. Las turbas de cañaveral y otras plantas acuáticas también se descomponen rápidamente (17).

La turba de *Sphagnum* está formada por la deshidratación de residuos recientes o incluso partes vivas de plantas ácidas de pantanos del género *Sphagnum*, tales como *S. papillosum*, *S. capillacium* y *S. palustre*. Es relativamente estéril, ligera en peso y tiene una elevada capacidad de retención de agua siendo generalmente picada antes de utilizarla como medio de cultivo (17).

B.2. MEZCLAS.- La mayoría de las mezclas contienen alguna combinación

de arena, turba, perlita, pumita y vermiculita. Las proporciones de utilización de cada una dependen del desarrollo de las plantas; algunas de las más útiles según Howard son (17) :

- 1.- Turba: perlita: arena. 2:2:1: Para plantas en maceta.
- 2.- Turba: perlita. 1:1: Para multiplicación de esquejes.
- 3.- Turba: arena. 1:1: Para multiplicación de esquejes y plantas en maceta.
- 4.- Turba: arena. 1:3: Para plantas en bancada y cultivos en contenedores en vivero.
- 5.- Turba: vermiculita. 1:1: Para propagación de esquejes.
- 6.- Turba: arena. 3:1: Peso ligero, excelente aireación, para macetas y cultivo en bancadas, propia para azaleas, gardenias y camelias que piden medio ácido.
- 7.- Vermiculita: perlita. 1:1: Ligera, buena para propagación de esquejes.
- 8.- Turba: pumita: arena. 2:2:1: Para plantas en maceta.

B.3. AIREACION.- Para la arena, la perlita y el aserrín, la aireación depende del tamaño de sus partículas y la frecuencia de irrigación: partículas muy finas o riegos muy frecuentes conducen a una pobre aireación. La vermiculita inicialmente proporciona excelente aireación debido al aire almacenado entre sus estructuras laminares, pero posteriormente se comporta como la arena (37).

B.4. DRENAJE.- El drenaje está estrechamente relacionado con la aireación. Si el drenaje no es adecuado, la aireación de las raíces es pobre. Para permitir un drenaje eficiente, se debe proveer a las tinas o macetas de perforaciones o salidas de tamaño adecuado (37).

B.5. APLICACIONES DE LA SOLUCION:- La experiencia práctica es el

mejor juez para determinar la periodicidad de aplicación de la solución nutritiva. El tamaño y la clase de planta y las condiciones climáticas, son los principales factores involucrados. Las plantas grandes requieren por lo general, menos nutrientes que las pequeñas: un tiempo frío y nublado reduce el consumo de agua y nutrientes. También se debe tener en cuenta el tipo y la concentración de la solución: soluciones con bajos niveles de nitratos se deben aplicar más seguido que las que tienen niveles altos, las soluciones diluídas deben aplicarse más frecuentemente que las concentradas, etc. Más adelante en este capítulo se discuten diversos métodos para la aplicación de la solución nutritiva (37).

- B.6. LAVADO.- La idea de lavar periódicamente el agregado es la de prevenir la excesiva acumulación de sales en el mismo y en la base del tallo de las plantas. Se ha sugerido que el agregado sea lavado con abundante agua una vez a la semana, o al menos cada quince días: sin embargo, esta práctica conduce a un injustificado desperdicio de agua, nutrientes y labor. El análisis regular del agregado mediante técnicas comunes de análisis de suelo es el mejor sistema de checar la acumulación de sales (37).

4.2.2.4. METODOS DE CULTIVO EN PEQUEÑA ESCALA.

Existe una gran variedad de diseños para llevar a cabo el cultivo en agregado en pequeña escala. Cada uno de ellos está basado en alguno de los métodos que a continuación se exponen y cuya clasificación se basa en la forma en que la solución es aplicada.

IRRIGACION SUPERFICIAL (SLOP CULTURE):

Se le da este nombre a las instalaciones en las que la solución se aplica directamente a la superficie del agregado.

Cualquiera que sea el diseño, lo esencial es proveer al recipiente con un eficiente sistema de drenaje. Generalmente los orificios de drenaje localizados en el fondo del recipiente se deben cubrir con un filtro (tela de fibra de vidrio, tela de mosquitero de plástico, nylon, etc.) para evitar que el agregado salga del mismo (37).

Usualmente se recomienda llenar el recipiente de la siguiente manera: primero colocar una capa de grava (con partículas de 1 a 3 cm. de diámetro) de 3 a 6 cm. de espesor en el fondo, y segundo, añadir una capa del agregado de 15 a 20 cm. de espesor (37).

El riego con la solución nutritiva se realiza generalmente con una jardinera o cubeta con pequeñas perforaciones en la base, aunque también se puede realizar a través de un tubo o de una manguera. La solución nutritiva generalmente no se recircula por lo que los recipientes no tienen que ser impermeables; sólo debe evitarse que sus paredes interiores reaccionen con la solución, ya que se puede alterar la composición de ésta última (37)

Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran tres diferentes diseños basados en el método de irrigación superficial, propios para plantas ornamentales o para el cultivo de hortalizas en el hogar. Dos de ellos permiten recircular la solución.

IRRIGACION POR GOTEO:

El equipo necesario para este método es semejante al anterior, excepto en el mecanismo de riego, ya que aquí se adopta un sistema automático que haga gotear la solución nutritiva (17,37).

Normalmente se utiliza un recipiente de plástico, vidrio (opaco o pintado de negro), o lámina impermeabilizada como de

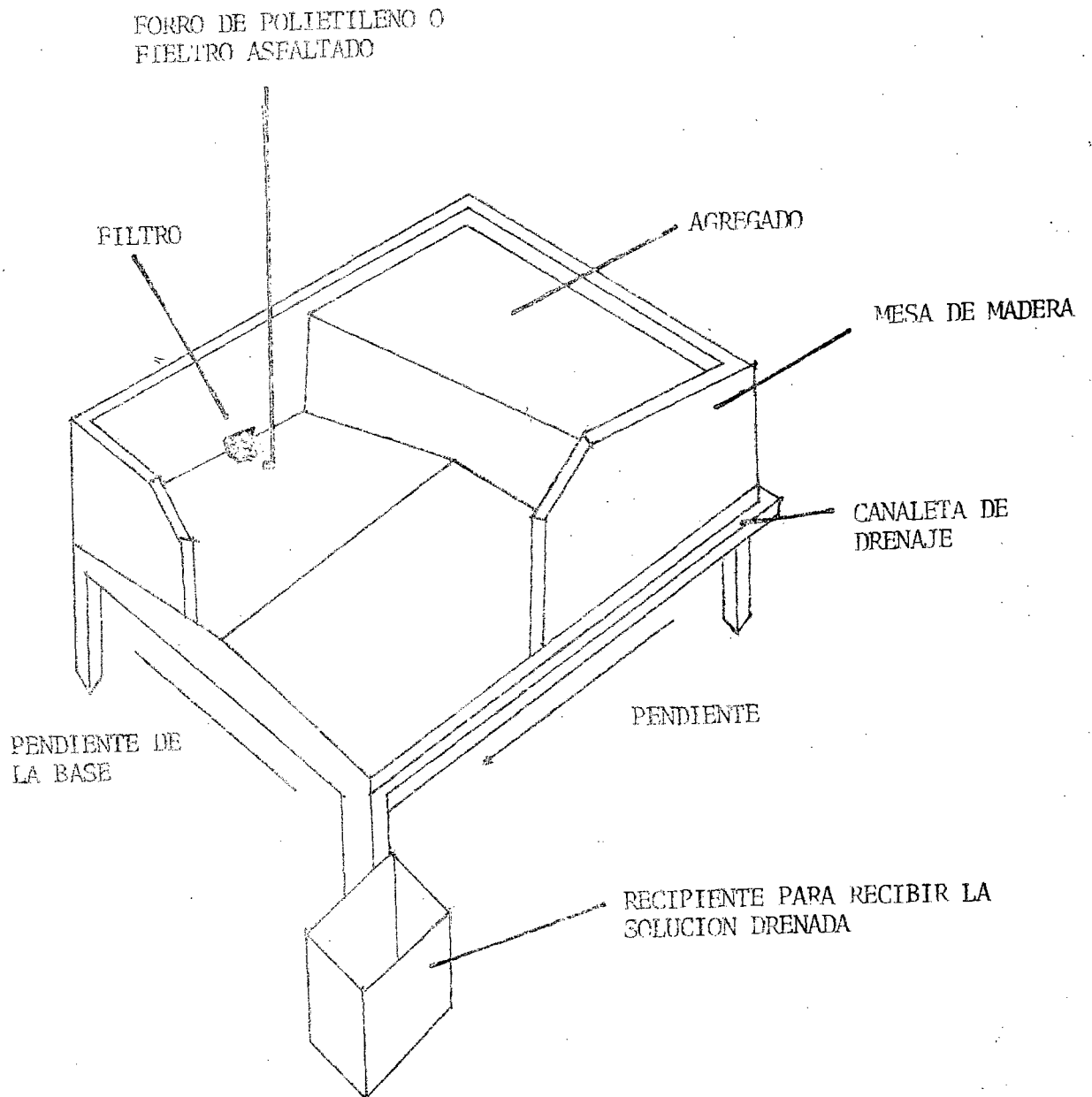


Fig. 6.1. DISEÑO DE CAMA CON SOSTEN PARA CULTIVO EN AGREGADO CON IRRIGACION SUPERFICIAL. ADAPTADO DE HOLLIS (1964).

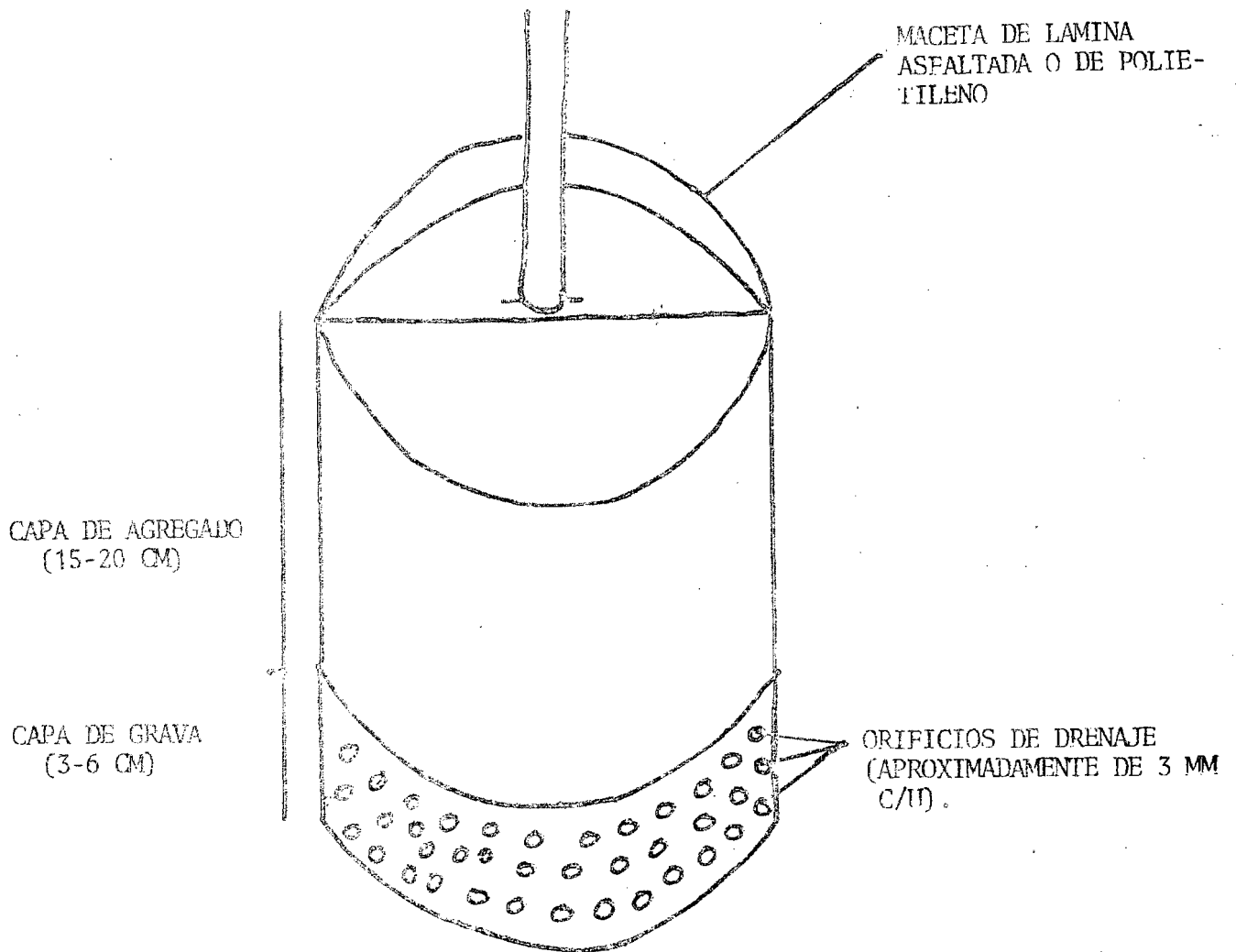


Fig. 6.2. DISEÑO DE MACETA PARA CULTIVO EN AGREGADO CON IRRIGACION SUPERFICIAL. ADAPTADO DE HARRIS (1974).

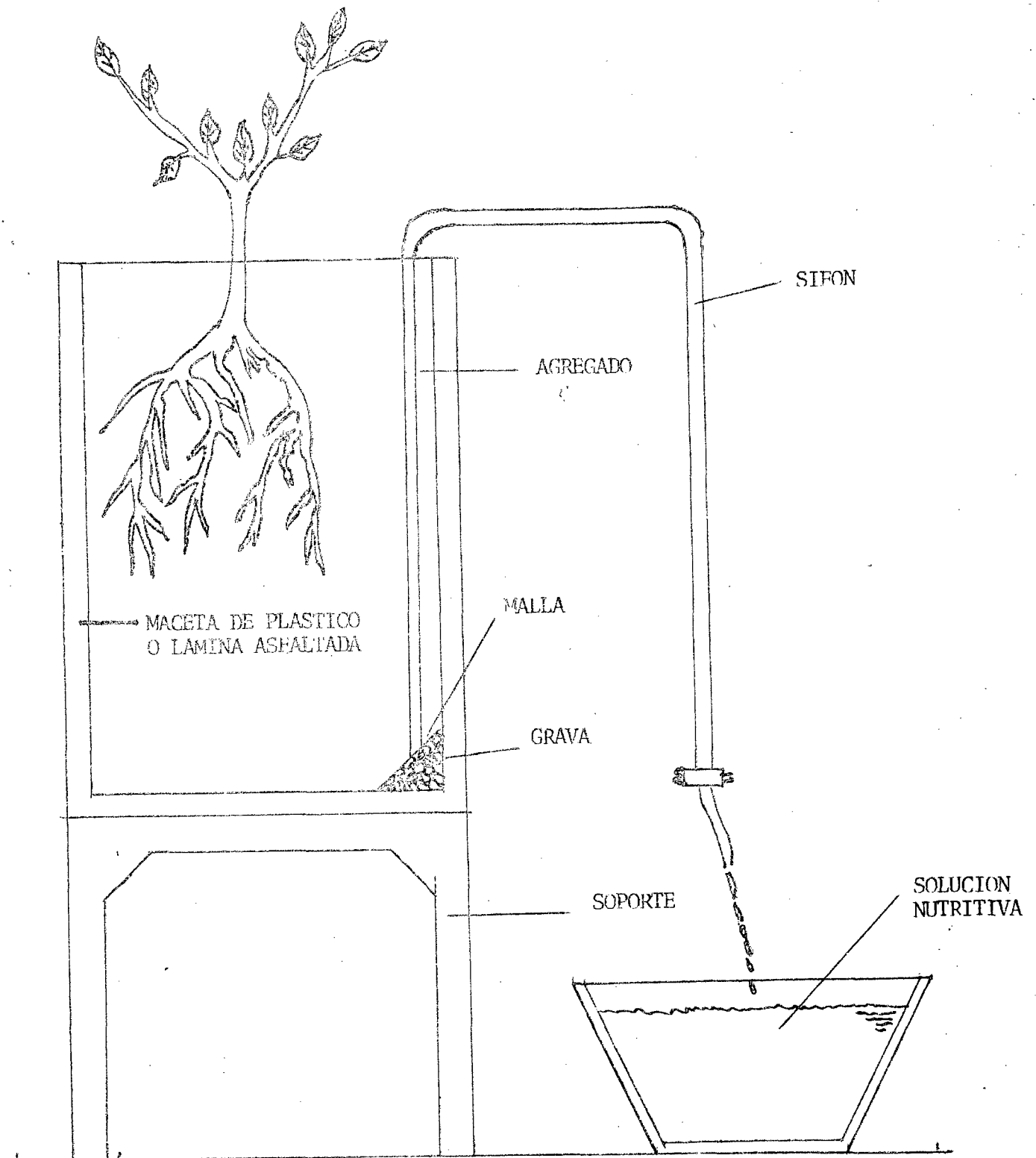


Fig. 6.3. DISEÑO DE RECIPIENTE CON DRENAJE A TRAVES DE SIFON AUTOMATICO PARA CULTIVO EN AGREGADO CON IRRIGACION SUPERFICIAL.

pósito continente de la solución. A este recipiente se le conecta una manguerita 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 mangueritas de plástico el goteo se puede graduar presionándolas con laminitas dobladas o con dispositivos para apretarlas, como las de los equipos para aplicar suero (17,-- 37).

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 veintiún días, teniendo cuidado de reemplazar la solución evaporada y transpi-rada con agua sola para evitar que aquélla se concentre dema-siado; es decir, el recipiente deberá exhibir, cada vez que - sea relleno, el mismo volumen de líquido (37)

La dosis de aplicación varía con el tipo y tamaño de la planta, con las condiciones climáticas y con el tipo de agre-gado que se utilice: generalmente oscila entre medio y dos litros de solución diariamente y, hasta cuatro litros diarios - en localidades con alta temperatura e insolación (17,33,37).

Cada quince días o cada vez que la solución se cambie, - se recomienda lavar el agregado para evitar acumulación de sales. En el caso de que se recircule la solución es mejor la-var con la misma que se desechó: si no se recircula se usará agua sola (17).

Las figuras 6.4 y 6.5 muestran dos diferentes diseños de irrigación por goteo para instalaciones caseras.

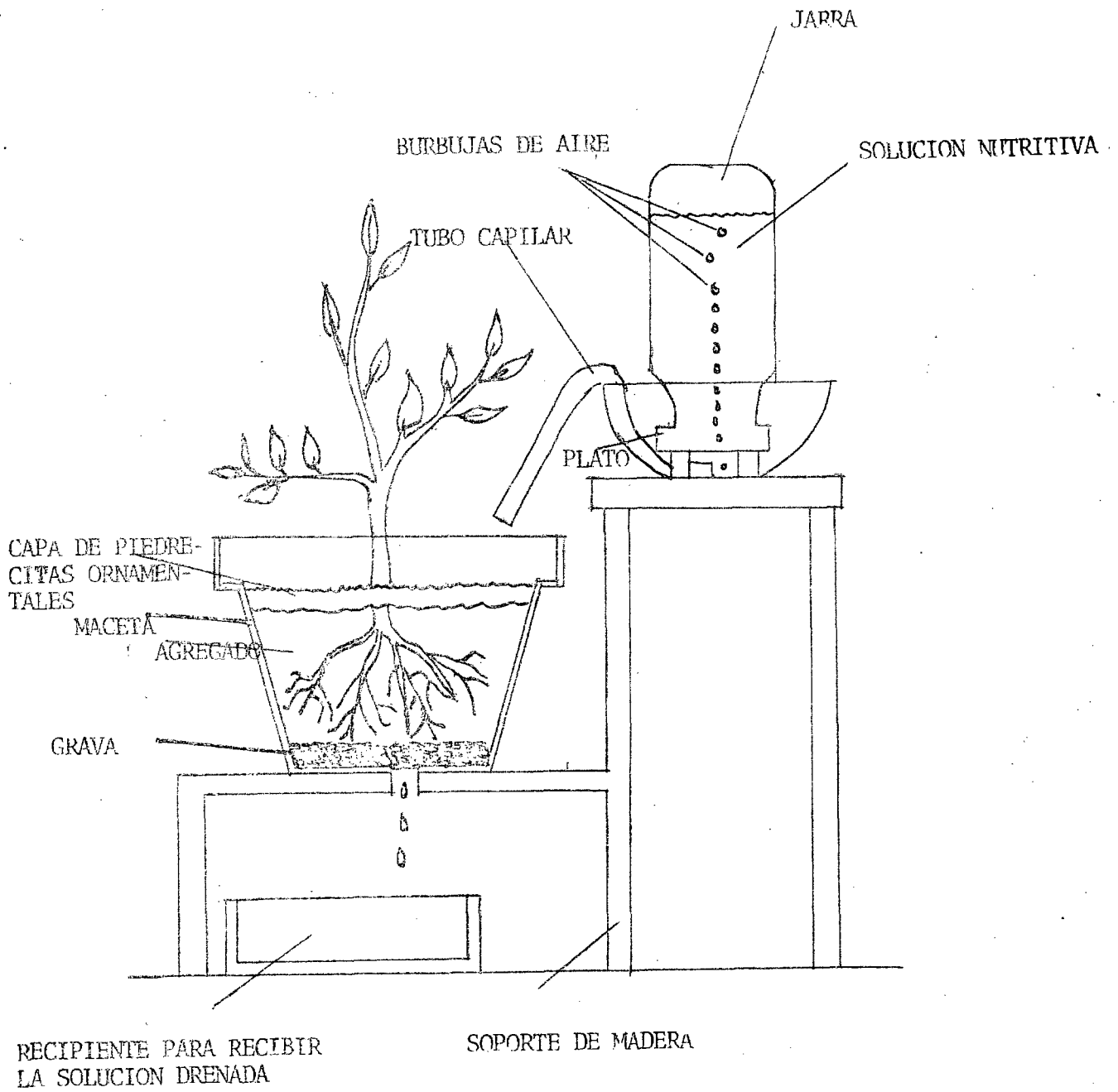


Fig. 6.4. DISEÑO CASERO DE IRRIGACION POR GOTEO PARA CULTIVO EN AGREGADO.

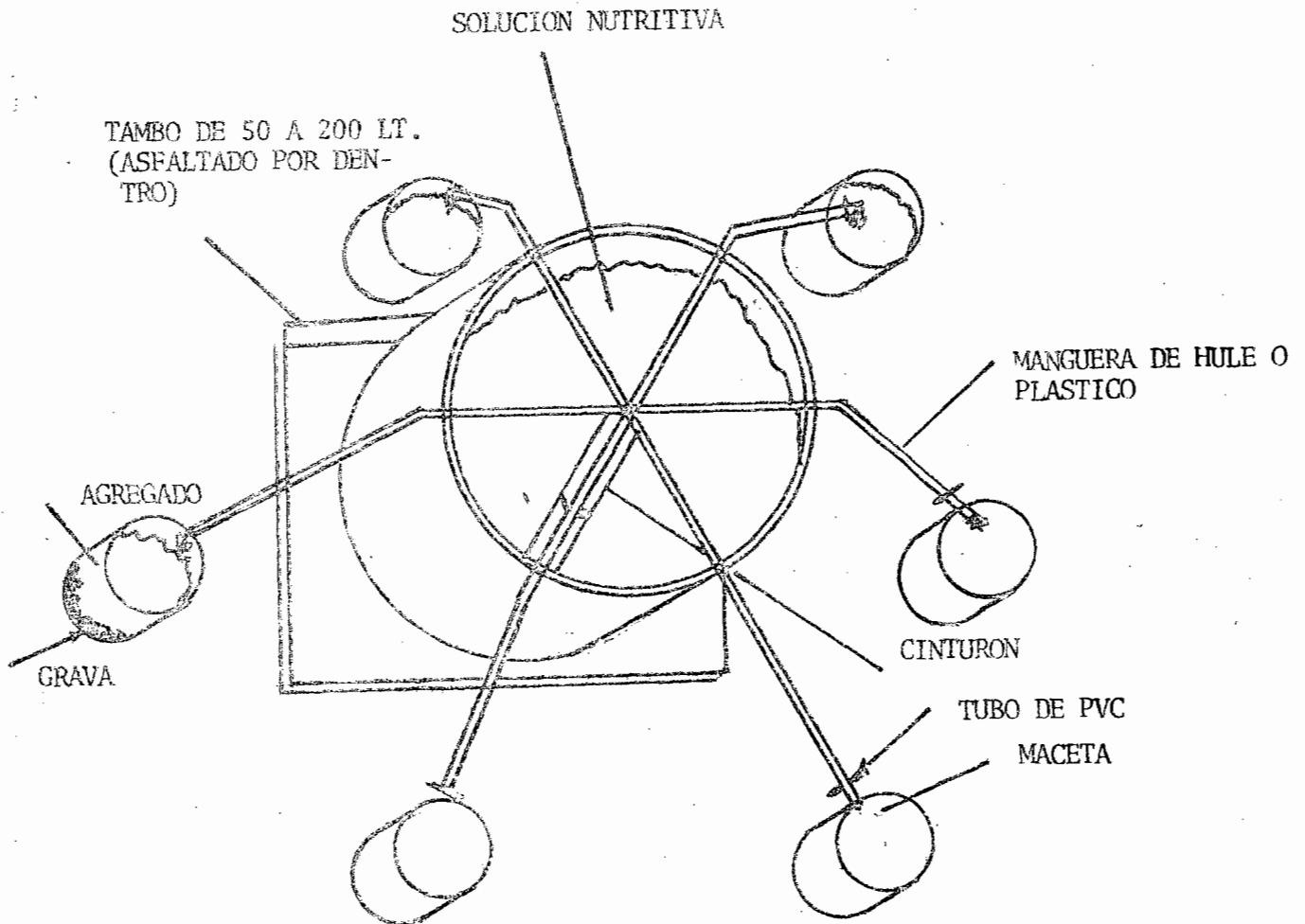


Fig. 6.5. DISEÑO PARA HUERTO FAMILIAR DE CULTIVO EN AGREGADO CON RIEGO POR GOTEO SIN RECUPERACION DE LA SOLUCION PARA VARIAS MACETAS.

SUB-IRRIGACION.

Este método fue diseñado originalmente para cultivo en grava; posteriormente, y con el propósito de eliminar las tareas de regar y aplicar la solución nutritiva con manguera o jardinera, se modificó el método para aplicarse en agregados como arena, perlita, vermiculita, aserrín, etc. (37).

Existe una gran cantidad de diseños para la sub-irrigación del agregado, tanto a pequeña como a gran escala. Uno de los más comunes para el cultivo en pequeña escala o con propósitos de investigación es el que se esquematiza en la figura 6.6.

La tina se construye generalmente de madera o lámina asfaltada o forrada con polietileno. Los niples en los que se ajusta la manguera son usualmente de cobre. El niple 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 el agregado con agua (o con solución nutritiva) y después se abre el drenaje para dejar escurrir el agua sobrante (es decir, se deja el agregado a capacidad de campo). Posteriormente se siembra y se aplica la solución normalmente de acuerdo a las consideraciones mencionadas anteriormente, al referirse a las aplicaciones de la solución (17, 37).

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 cms. de profundidad y dependiendo del agregado, se requieren 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 (33).

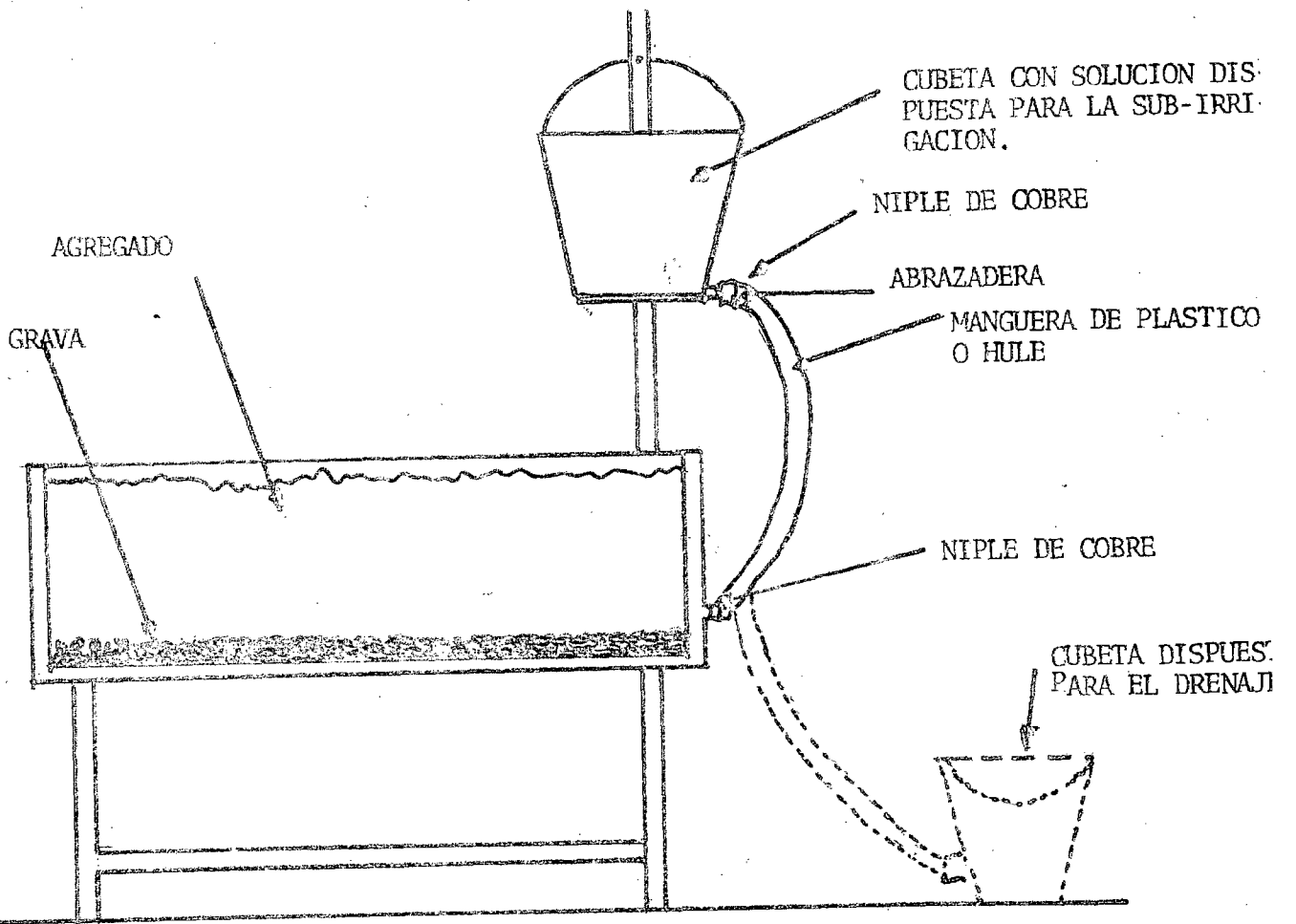


Fig. 6.6. DISEÑO POR SUB-IRRIGACION EN CULTIVO EN AGREGADO.

El método de riego por sub-irrigación presenta la ventaja de mantener seca la superficie del agregado, lo que dificulta la 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.

IRRIGACION POR CAPILARIDAD:

Este método se usa generalmente para instalaciones caseras, siendo muy adecuado para plantas decorativas de interior. También es adecuado para personas que salen seguido de viaje o vacaciones, ya que pueden dejar mucho tiempo sus plantas sin atender (37).

Un diseño más o menos simple de este método se puede apreciar en la figura 6.7.

Para conducir la solución al agregado se usa una mecha para lámpara de alcohol o petróleo, misma que 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 capacidad para una maceta, o varias dispuestas en fila. La 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 permancecer en el recipiente por dos o tres semanas antes de reemplazarse. El agregado se debe lavar con agua cada vez que la solución se cambie para evitar la excesiva acumulación de sales en el mismo (17,37).

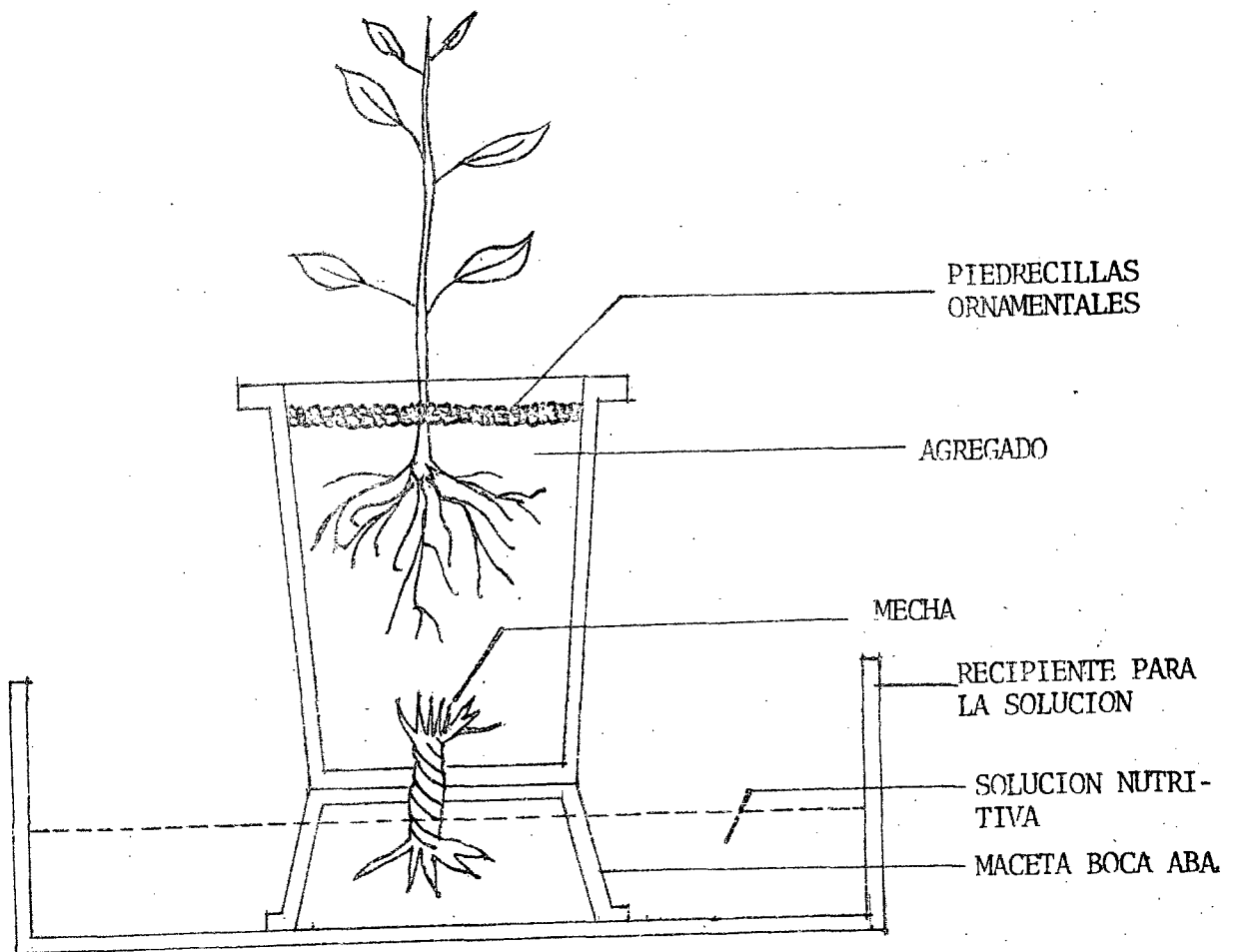


Fig. 6.7. DISEÑO CASERO DE IRRIGACION POR CAPILARIDAD EN AGREGADO.

4.2.2.5. METODOS DE CULTIVOS EN MEDIANA Y GRAN ESCALA:

Al igual que en pequeña escala, los métodos utilizados a nivel comercial se clasifican en base a la forma en que se aplica la solución nutritiva.

IRRIGACION SUPERFICIAL:

Se denomina así al método que consiste en aplicar la solución nutritiva directamente a la superficie del agregado. Existen varios diseños y en la mayoría de ellos se opera sin reutilizar la solución; con ello se obtiene la ventaja de que no se requiere de camas impermeables, ni de un tanque para recibir la solución drenada, ni tampoco de una bomba: estas características permiten que los costos de instalación sean más bajos, y se utiliza más mano de obra. Si se quisiera recircular la solución nutritiva se tendría que impermeabilizar las tinas y se usaría al menos una bomba (37).

El principal problema a resolver en el método de irrigación superficial consiste en saber con qué frecuencia debe aplicarse la solución nutritiva. Aquí la experiencia es el mejor asesor, y los parámetros indicativos son: los factores climáticos, el tamaño y absorbencia de las partículas del sustrato y la concentración de esa solución nutritiva. Normalmente se siguen dos procedimientos para irrigar: el primero consiste en aplicar alternativamente agua y solución, y en el segundo únicamente solución nutritiva cada vez que las raíces de las plantas demanden humedad (17,37).

Aunque la cantidad de solución necesaria para el riego depende de varios factores (tipo de agregado, tamaño y clase de planta, temperatura, etc.), se puede estimar que oscila entre 5 y 20 litros por metro cuadrado al día, y para regiones muy calurosas puede llegar a los 40 litros por metro cuadrado por día. Generalmente hablando, es imposible sobregar bajo

cultivo en agregado si el drenaje está bien diseñado, pero entre más solución se aplique, habrá más pérdidas de agua y fertilizantes (17,37). Las figuras 6.8 y 6.9 muestran dos diferentes diseños de cultivo en agregado con irrigación superficial; el primero de ellos es propio para una localidad cuyo suelo tenga un buen drenaje, mientras que el segundo es adecuado donde el suelo tiene un mal drenaje.

IRRIGACION POR GOTEO:

A escala comercial y con determinado tipo de cultivos (pepinos, jitomate, plantas grandes), un sistema de riego por goteo puede ser favorable para el cultivo hidropónico en agregado.

En la mayoría de los diseños que abarca este método, la solución no se recircula, ya que el gasto de la misma es relativamente bajo (17,33,37).

Un posible diseño de este método aparece en la figura 6.10.

Un tanque de almacenamiento se comunica con un tanque regulador provisto con flotador, que se encuentra ligeramente más abajo: éste, a su vez, se comunica con una manguera o tubo principal que es en donde se conectan varias mangueras secundarias, mismas que se tienden a lo largo de las tinas. En estas mangueras, y a intervalos, van conectados los goteros (spaguetis) que alimentan a las plantas. El tubo principal debe ser de un diámetro lo suficientemente grande para asegurar igual presión en cada una de las mangueras secundarias. Cualquier proveedor de sistemas de riego por goteo puede explicar todos los detalles relativos a lo mismo (17,33,37).

El ritmo de goteo para cultivo en agregado oscila por lo general de 0.5 a 4 litros diarios por goteo, dependiendo de -

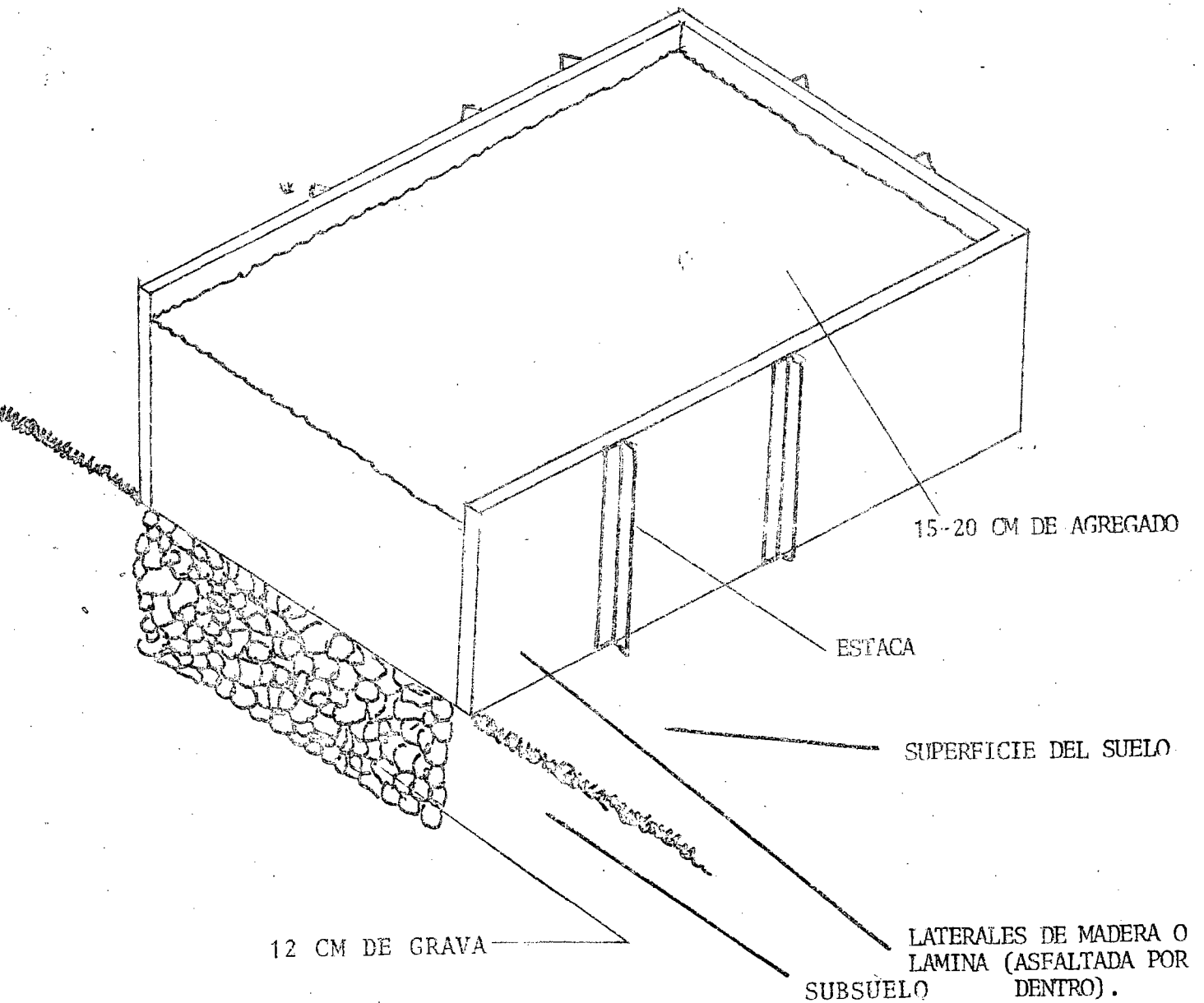


Fig. 6.8. CAMA PARA CULTIVO EN AGREGADO CON IRRIGACION SUPERFICIAL PROPIA PARA SUELOS BIEN DRENADOS. HOLLIS (1964).

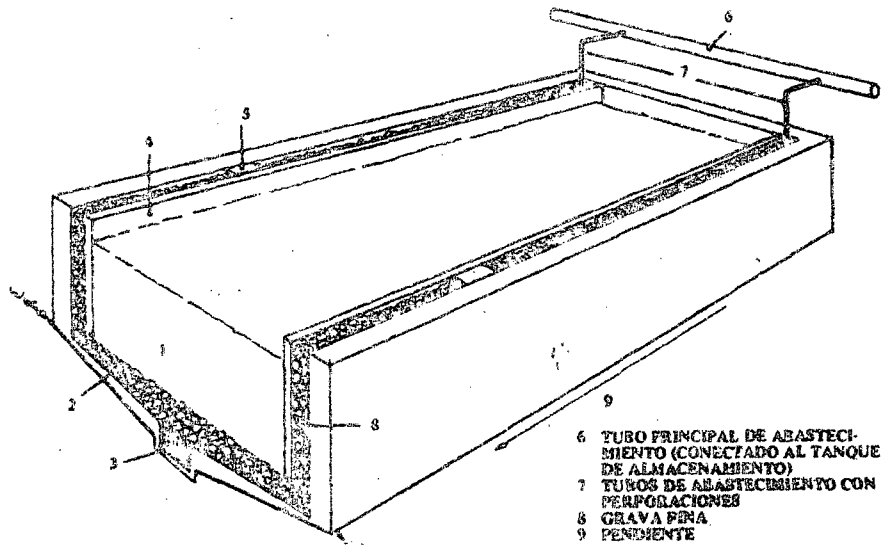


Fig. 6.9. CAMA PARA CULTIVO EN AGREGADO CON IRRIGACION SUPERFICIAL PROPIA PARA SUELOS MAL DRENADOS.

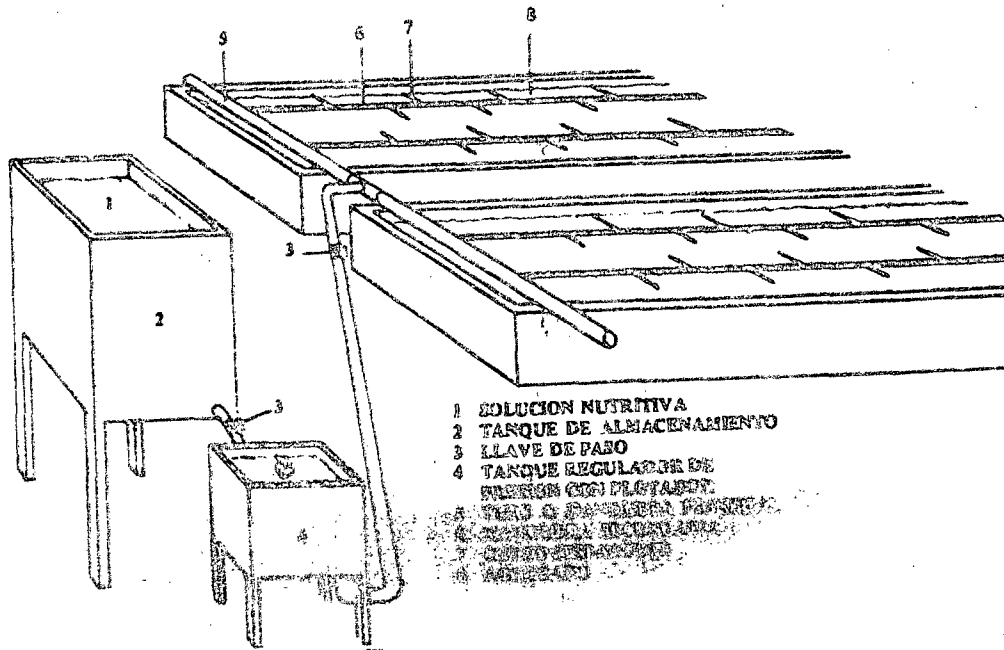


Fig. 6.10. DISEÑO DE IRRIGACION POR COTEO A NIVEL COMERCIAL PARA CULTIVO EN AGREGADO. HOLLIS (1964).

varios factores tanto culturales como climáticos. Tan pronto como la solución empieza a salir por los orificios de drenaje, se corta el suministro de la misma a las plantas, y no se renueva hasta que el agregado seque lo suficiente (según sequen los primeros 3 a 6 cm. por debajo de la superficie) (17, 33,37).

Es conveniente lavar el agregado cada dos o tres semanas con agua sola para evitar la excesiva acumulación de sales; este lavado se realiza con manguera y a mano (37).

Aunque este método involucra el gasto inicial del equipo de irrigación, los costos de mano de obra se pueden reducir considerablemente. Otra ventaja del cultivo en grava es la de poderse automatizar el riego, pero sin la desventaja de este último de construir costosas camas impermeables y comprar bombas para circular la solución nutritiva. Otra ventaja que este método tiene, es que las tinas pueden sustituirse por -- bolsas de polietileno (17,33,37).

SUB-IRRIGACION:

Es este, otro método diseñado con el fin de evitar la -- aplicación de solución con manguera.

Un diseño de éste método se ilustra en la figura 6.11.

La tina es impermeable, normalmente está construída de -- concreto asfaltado o forrado con polietileno por dentro; lleva uno o dos tubitos de cobre o plástico para distribuir la -- solución, a uno o ambos lados de la tina. La solución es forzada por gravedad a través del tubo principal o a los tubos -- distribuidores; estos miden de 1.25 a 2.5 cm. de diámetro y -- cuentan con pequeñas perforaciones espaciadas a lo largo de -- su longitud. Cuando se abre la llave de paso del tanque de -- almacenamiento, la solución circula por los tubos de abasteci

- 1 SOLUCION NUTRITIVA
- 2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 3 FILTRO
- 4 NIVEL DE LA SOLUCION
- 5 DESAGUES
- 6 TUBO PRINCIPAL DE ABASTECIMIENTO (CONECTADO AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO).
- 7 TUBOS DE ABASTECIMIENTO CON PERFORACIONES
- 8 GRAVA FINA
- 9 PENDIENTE

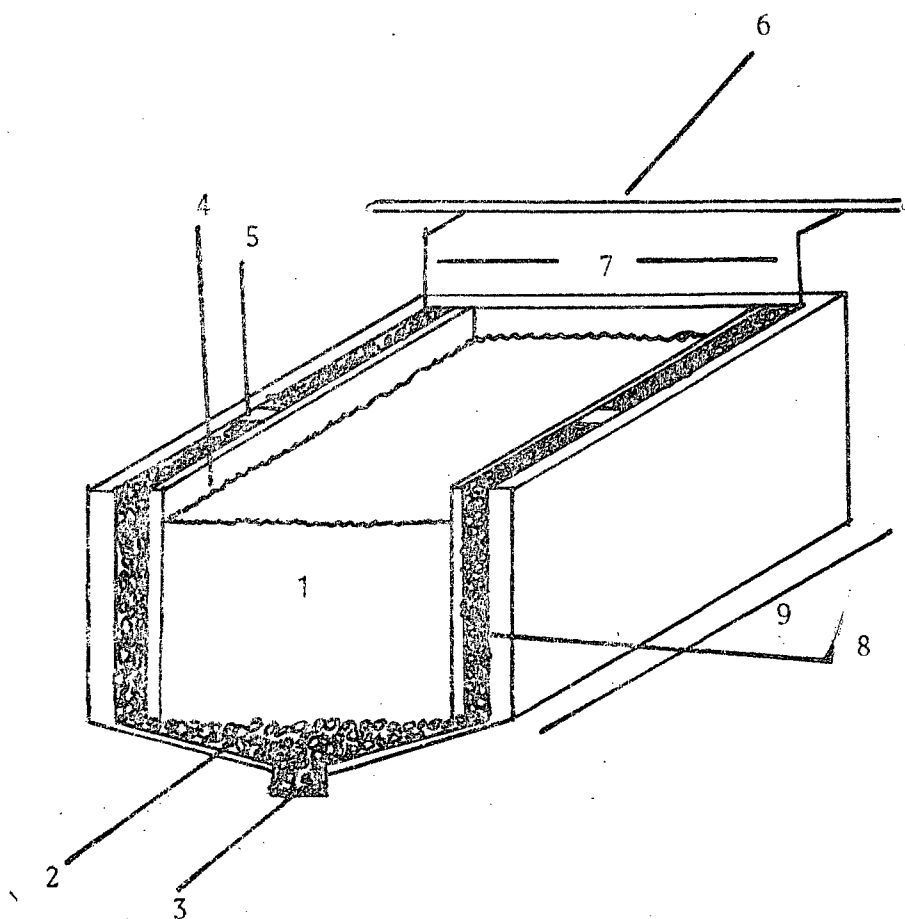


Fig. 6.11. DISEÑO DE SUB-IRRIGACION PARA CULTIVO EN AGREGADO. HOLLIS (1954).

miento, sale por los orificios hacia la grava, y se distribuye rápidamente por toda la zona inferior de la tina: la solución tenderá ahora a circular gradualmente hacia la salida -- del drenaje, pero a la vez subirá al agregado por acción capilar. Cuando el agregado se ha humedecido convenientemente en toda la longitud de la tina, la llave del tanque de almacenamiento se cierra y la del drenaje se abre (17,37).

Si se cuenta con un recipiente para recibir la solución drenada, ésta podrá recircularse durante unos 15 días, antes de ser desechado (o bien usarla indefinidamente mediante análisis químicos y restitución semanal de los nutrientes que se vayan agotando).

La separación entre las hojas de asbesto y el concreto de la tina debe ser de 2 a 4 cm. (inclusive por el canto inferior de las hojas de asbesto) (17,37).

El canal tiene por objeto favorecer el drenaje y debe estar situado al lado opuesto del tubo de distribución, o en el centro de la tina, si la misma se construye con dos tubos: como en el esquema. El filtro para el canal puede ser una tira alargada de tela de mosquitero de plástico o de alambre (37).

La capa de grava del fondo de la tina debe ser de 3 a 5 cm. y la del agregado de 15 a 20 cm. (17).

Otro diseño del método de sub-irrigación es el propuesto por Bentley en 1955 en su libro "Growing Plants without Soil". Este diseño es propio para vermiculita, aunque se puede usar otro agregado (ver figura 6.12).

4.2.2.6. OPERACIONES GENERALES.

Una de las razones por las que el cultivo en agregado se

SECCION DE DRENAJE

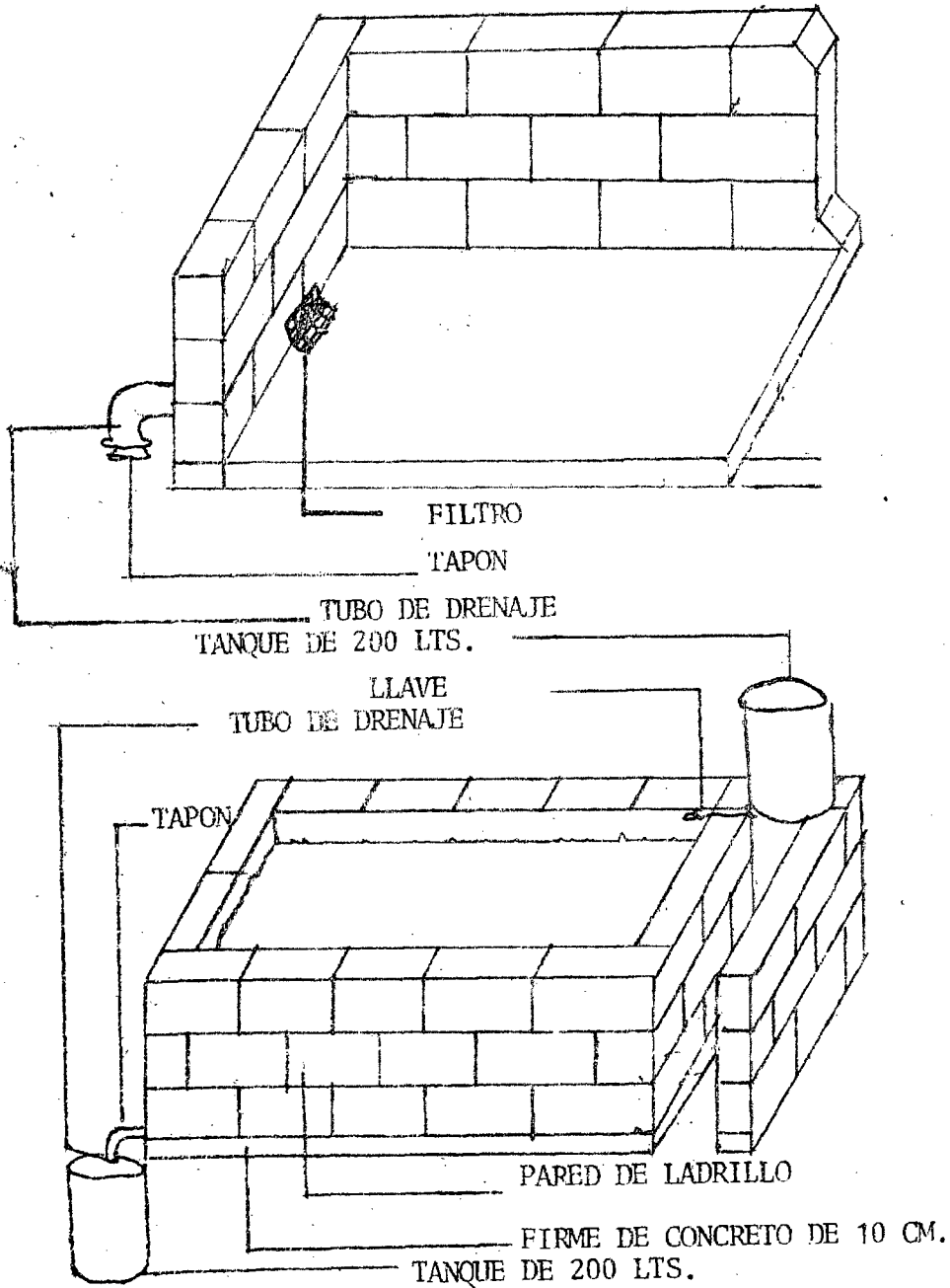


Fig. 6.12. DISEÑO DE SUB-IRRIGACION PARA CULTIVO EN AGREGADO (VERMICULITA).
BENTLEY (1955).

recomienda a las personas que se inician en el sistema hidropónico de producción, es que la mayoría de las operaciones -- que se realizan son similares a las ejecutadas en un sistema de cultivo en suelo (37).

Como muchas operaciones ya se han mencionado al discutir los diferentes métodos de cultivo en pequeña y gran escala, -- sólo se hará referencia a las operaciones de siembra y trasplante.

SIEMBRA: Las semillas se siembran en el agregado tal como en el suelo. Dado que no hay competencia por nutrientes en las raíces, las plantas se pueden sembrar, hablando en términos -- generales, a un 20% más cerca que bajo cultivo en suelo; el -- factor que impide ahora una mayor densidad es la luz (1,13,-- 37).

Se considera que la arena, perlita, vermiculita y aserrín, son ideales como enraizadores y para semilleros debido a un mejor control de la humedad y de la nutrición. El damp-off y otras pudriciones fungosas de las plántulas casi no se presentan porque la superficie del agregado puede mantenerse seca (10,23,24,25,28,37).

Generalmente las semillas son forzadas a germinar con -- agua, aunque la mayoría de las especies germinan igualmente -- con solución nutritiva.

TRASPLANTE: Las plantas trasplantadas de un agregado a otro de su misma clase soportan mucho mejor el trasplante que de -- suelo a suelo; esto se debe principalmente a que lo suelto -- del agregado permite que se pueda transferir una mayor cantidad de raíces y pelos radiculares por planta. No es recomendable la práctica de trasplantar del suelo al agregado debido a que éste último se puede infectar; pero el trasplante de -- agregado a suelo es perfectamente factible (10,13,17,37).

4.2.2.7. EVALUACION DEL CULTIVO EN AGREGADO EN RELACION A - - OTRAS CATEGORIAS DE CULTIVO HIDROPONICO.

A) VENTAJAS:

- 1.- ES EL SISTEMA QUE MENOS CONOCIMIENTO TECNICO Y EXPERIENCIA PREVIA REQUIERE PARA PODER SER PRACTICADO CON EXITO.

Si se siguen correctamente unas cuantas instrucciones, la mayoría de las plantas responden bien. Los resultados son iguales en promedio a los obtenidos con otros sistemas de cultivo hidropónico. El cultivo en agregado se sugiere como base para ganar experiencia antes de intentar abordar otros sistemas hidropónicos (37).

- 2.- GRAN AHORRO EN LA INVERSION INICIAL.

Aunque hay métodos de cultivo en agregado cuyos costos de instalación son elevados, en general es el sistema hidropónico más barato ya que requiere equipo menos caro y menos instalaciones.

- 3.- LA ARENA ES UNO DE LOS SUSTRATOS MAS FACILES DE CONSEGUIR.

- 4.- LA ABSORCION DE LOS AGREGADOS PERMITE METODOS DE RIEGO A BASE DE CAPILARIDAD (17,37).

B) DESVENTAJAS:

- 1.- EN REGIONES LLUVIOSAS HAY TENDENCIA AL ANEGAMIENTO CUANDO SE TRABAJA AL AIRE LIBRE DEBIDO A LA ABSORBENCIA DE LOS AGREGADOS.

No obstante, si el drenaje es eficiente y se controla adecuadamente el suministro de la solución, el problema no es muy serio (37).

- 2.- EN AQUELLOS METODOS EN QUE NO SE RECIRCULA LA SOLUCION -

HAY UN MAYOR GASTO DE FERTILIZANTES Y AGUA (37).

- 3.- ALGUNOS METODOS REQUIEREN DE MAS MANO DE OBRA QUE PARA -
OTRAS CATEGORIAS DE CULTIVO HIDROPONICO (37).
- 4.- NO EXISTE UN CONTROL TAN ESTRICTO DE LOS ELEMENTOS NUTRI
TIVOS DEBIDO A QUE OCURRE UNA PAULATINA ACUMULACION DE -
LOS MISMOS EN EL AGREGADO (17,37).
- 5.- LA VERMICULITA Y LA PERLITA SE VAN DESINTEGRANDO CON EL
TIEMPO, LO QUE VA EN DETRIMENTO DE UNA AIREACION EFICIEN
TE.

Para evitar esta situación se debe cambiar el agre-
gado periódicamente (cada tres a cinco años dependiendo
de la condición en que dicho agregado se encuentre) (17,
37).

4.2.3. CULTIVO EN GRAVA.

4.2.3.1. CARACTERISTICAS GENERALES.

Se puede definir al cultivo en grava como aquel sistema hidropónico que comprende a los métodos en que las plantas -- crecen en un sustrato, generalmente no absorbente, y cuyas -- partículas quedan comprendidas entre los 2mm. y 2 cm. de diámetro (17,37).

De entre los muchos materiales que se consideran como -- grava y que se utilizan con frecuencia en la hidrononia, destacan los siguientes: basalto, granito, tezontle, piedra pómez, pedazos de ladrillo, carbón, poliestireno, poliuretano, cascarilla de arroz, etc. (37).

La solución nutritiva se suministra, casi exclusivamente, mediante sub-irrigación, es decir, la solución se aplica al fondo de la tina o recipiente y va mojando la grava de abajo hacia arriba (17,37).

El cultivo en grava requiere el uso de tinajas impermeables. Como sustrato para las raíces se coloca dentro de las tinajas un medio, generalmente no absorbente, con partículas relativamente grandes para asegurar una excelente aireación -- (más de 2 mm. de diámetro), pero no tan grandes que no retengan la suficiente humedad para las raíces. Tan pronto como la solución es forzada dentro de las tinajas y circula 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 cultivo. Las partículas de grava retienen sobre sus superficies (y también dentro de las partículas de materiales porosos) humedad suficiente para permitir un crecimiento satisfactorio (15,17,37).

La solución puede reutilizarse por un tiempo indefinido

(si se realizan análisis químicos frecuentes y se restituye - el agua perdida por transpiración) o bien renovarse periódicamente (15,17,37).

En función de su tamaño y de otras características propias, las partículas de grava empiezan a secarse después de - unas pocas horas y necesitan regarse con bastante frecuencia por lo que a nivel comercial se requiere de un equipo de bombeo muy eficiente (15,17,37).

El cultivo en grava ha demostrado varias ventajas en instalaciones comerciales y es el más comúnmente utilizado, en - las instalaciones hidropónicas de Estados Unidos e Israel - - (37).

4.2.3.2. PROBLEMAS TECNICOS:

El cultivo hidropónico en grava presenta ciertos problemas técnicos de considerable importancia.

1. CARACTERISTICAS NUTRICIONALES: en general, el control nutricional es semejante al que se realiza bajo cultivo en solución y es más exacto que bajo cultivo en agregado (17,37).

Bajo este apartado se discuten tres aspectos: acidez de la solución, nivel de fosfatos y nivel de fierro.

- 1.1. ACIDEZ DE LA SOLUCION: para obtener buenos resultados debe - mantenerse la acidez de la solución dentro del rango que va - de media a ligeramente ácida. Las fluctuaciones de acidez no son tan marcadas como bajo cultivo en agregado (15,17,37).
- 1.2. NIVEL DE FOSFATOS: el nivel de fosfatos en la solución nutrición debe regularse adecuadamente. Cantidades excesivas de - este radical conducen a la precipitación de microelementos en la misma (principalmente fierro). Se recomienda, por tanto,

no sobrepasar los seis milimoles de concentración de fosfatos (12,17,20,21,29,37,46).

El manejo adecuado del nivel de fosfatos favorece la regulación de la acidez de la solución debido a su acción estabilizadora. Una concentración entre dos y cuatro milimoles favorece esa acción (21,29,37,46).

- 1.3. NIVEL DE FIERRO: uno de los principales problemas del cultivo en grava es el de mantener un nivel adecuado de fierro en la solución nutritiva (21,37).

Aunque a menudo se encuentra suficiente fierro en el agua y en las impurezas de los fertilizantes comerciales para satisfacer la demanda de las plantas, se recomiendan adiciones frecuentes en pequeñas concentraciones. Un exceso de fierro puede causar una deficiencia de fósforo, por eso las adiciones deben ser del orden de una parte por millón (ppm) (12,17,20,21,37,46)

II. CARACTERISTICAS FISICAS: los principales problemas relativos al cultivo de grava comprenden:

- 2.1. TIPO Y CARACTERISTICA DE LA GRAVA: existe una variedad de sustratos denominados convencionalmente como grava. Cada uno de ellos posee ciertas características, ventajosas algunas y desventajosas otras, que hay que tomar en cuenta al seleccionarlos. Para lograr un crecimiento satisfactorio de las plantas, la grava debe poseer varias características deseables como las que a continuación se enumeran:

- a) NO CONTENER MATERIALES TOXICOS. En algunos tipos de carbón se pueden encontrar excesivas cantidades de boro o de compuestos azufrosos, por lo que se recomienda lavarlos concienzudamente y/o tratarlos con una solución de silicato de sodio (17,37).

El problema más común es sin embargo, la excesiva acidez o alcalinidad del sustrato, provocada ya sea por sustancias extrañas o porque el tipo de grava sea así por naturaleza. Para corregir la alcalinidad se puede lavar profusamente el sustrato con agua, con una solución ácida, o bien con una solución de superfosfato. En caso de excesiva acidez (situación poco frecuente) se sugiere el lavado con agua, con una solución de superfosfato (10,17,37).

- b) EL MEDIO DEBE PROPICIAR UN EXCELENTE DRENAJE. El tamaño de las partículas, la presencia de material extraño como arena, suelo o fango y la porosidad de la grava, son los principales factores relacionados a esta característica. Todo el líquido libre debe ser drenado; sólo una pequeña película de humedad (y nutrientes) debe quedar retenida en la superficie de las partículas (37).
- c) LA GRAVA DEBE PROVEER UNA BUENA RETENCION DE HUMEDAD. El principal factor involucrado es el tamaño de las partículas: influye además, el hecho de que las partículas irregulares o planas tienen superficies de contacto más grandes, lo que les permite una mayor retención de humedad. La porosidad también es importante, sin embargo, presenta algunos problemas: por ejemplo la esterilización química se puede ver dificultada debido a que es casi imposible remover las impurezas y nutrientes por lo difíciles de lavar, alcanzando algunas veces niveles de toxicidad (10,14,17,37).
- d) LA GRAVA DEBE TENER LA SUFICIENTE CONSISTENCIA PARA SER DURABLE.
- e) LA GRAVA NO DEBE TENER ARISTAS CORTANTES. Algunos tipos de grava son filosos y pueden causar daño mecánico a ciertas plantas sobre todo en donde el viento es fuerte (17,37).

2.2. AIREACION DE LAS RAICES: este factor está estrechamente rela

cionado con las características de la grava que se utilice, - así como el intervalo de riego (ciclo de bombeo). Una irrigación frecuente, un llenado de las tinajas muy tardado o un drenaje lento reducen drásticamente el nivel de oxígeno alrededor de las raíces, lo que puede conducir a un metabolismo vegetal más lento, y desde luego, a una reducción del rendimiento (14,15,17,37).

- 2.3. FRECUENCIA DE IRRIGACION: depende de varios factores, tales como el tamaño y tipo de planta, las características de la grava y las condiciones climáticas.

Es mejor proporcionar el mínimo de humedad necesaria. - El mejor procedimiento para establecer la frecuencia de riego es observar a las plantas. El crecimiento se retarda tanto por el exceso como por la falta de humedad en las raíces; se puede presentar clórosis o color verde obscuro en ambos casos; la principal diferencia estriba en que, tan pronto como la humedad es deficiente las plantas muestran síntomas de marchitamiento (17).

Cuando se irriga una sola vez al día se recomienda que se haga entre las 10 y 13 horas. Cuando se efectúan dos riegos al día, se sugiere dar el primero entre las 8 y 10 horas y el segundo entre las 14 y 15 horas. Si son tres o más riegos se debe evitar el regar después de las 17 horas y antes de las 7 horas para evitar posibles carencias de oxígeno a nivel radicular (37).

- 2.4. LAVADO DE LA GRAVA: en caso de presentarse altas concentraciones de iones extraños, o toxicidad por exceso de algún nutriente, insecticida, fungicida, etc. es recomendable lavar profusamente la grava con agua, hasta que la condición indeseable desaparezca. Normalmente hasta con un lavado, pero en ocasiones pueden necesitarse dos o más (15,16,37).

- 2.5. TEMPERATURA DE LA GRAVA: es conveniente tratar de que la gra

va se encuentre entre 5 y 10° C arriba de la temperatura nocturna para evitar trastornos fisiológicos en lo que a absorción se refiere (17).

4.2.3.3. METODOS DE CULTIVO EN PEQUEÑA ESCALA:

A diferencia del cultivo en agregado, en este sistema -- son pocos los métodos prácticos para llevar a cabo el cultivo hidropónico en grava, en pequeña escala.

- A) RIEGO POR GRAVEDAD CON CUBETA: este método es muy semejante al de sub-irrigación en pequeña escala en cultivo en agregado (ver Fig. 6.6). La diferencia estriba en que el recipiente -- que contiene la solución debe tener más capacidad (aproximadamente la mitad del volumen de la tina), debido a que la grava deja mas espacios libres y no absorbe la solución nutritiva -- (17,37).
- B) IRRIGACION POR CAPILARIDAD: Ocasionalmente y con grava fina se han realizado diseños de este tipo (ver Fig. 6.7); sin embargo, como 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 (37).
- C) IRRIGACION MEDIANTE AIRE COMPRIMIDO: Si bien éste método es relativamente caro para instalaciones caseras, sí se usa para experimentos y trabajos de laboratorio.

En la figura 7.1 se aprecia el esquema de un posible diseño de irrigación forzada por aire comprimido.

La tina se puede construir 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 (pintada de negro para evitar el crecimiento de algas) que es la que actua como depósito de la solución. La manguerita de

- 1 GRAVA
- 2 MADERA
- 3 NIPLE PARA ENTRADA Y SALIDA DE LA SOLUCION
- 4 TAPON DE HULE
- 5 CONEXION DE VIDRIO
- 6 SOLUCION
- 7 BOTELLA PINTADA DE NEGRO
- 8 CONEXION AL COMPRESOR

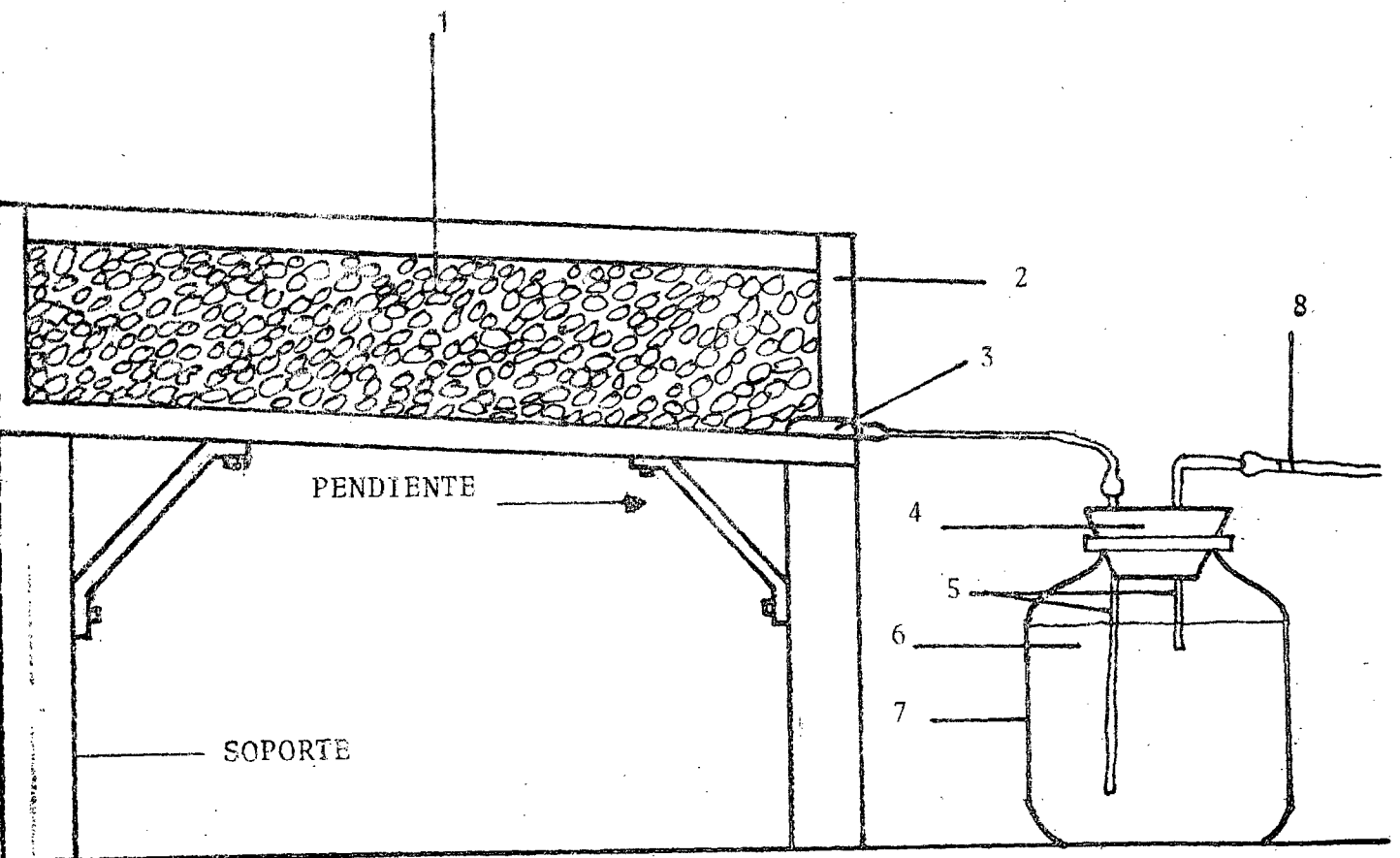


Fig. 7.1. ESQUEMA DE UN DISEÑO DE CULTIVO EN GRAVA MEDIANTE IRRIGACION CON AIRE COMPRIMIDO. HOLLIS (1964).

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, 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 (37).

Como generalmente son varias las 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 (37).

Los tubitos de vidrio y mangueras de plástico, que entran y salen de las botellas normalmente miden entre 0.8 y 1.25 cms. de diámetro, con lo que se logra un riego y un drenaje bastante eficiente. La capacidad de la botella está en función principal con el volumen de la tina (37).

4.2.3.4. METODOS DE CULTIVO EN MEDIANA Y GRAN ESCALA:

Aunque a nivel comercial existe una gran variedad de diseños para el cultivo hidropónico en grava, estos se pueden agrupar en dos métodos generales llamados: alimentación directa, en donde la solución se bombea directamente a las tinajas; y alimentación por gravedad, en donde la fuerza de gravedad es utilizada para llenar las tinajas con solución nutritiva.

A) METODO DE ALIMENTACION DIRECTA: Este método es el más adecuado para trabajar en unidades comerciales pequeñas.

La solución se almacena en un depósito impermeable subterráneo y es forzado por una bomba, que a su vez alimenta a las tinajas por sub-irrigación, hasta saturarlas a unos 2 a 5 cms. por debajo del nivel de la grava. Cuando se tiene el nivel deseado de solución en las tinajas, la bomba se desconecta manual o automáticamente y la solución drena, por gravedad,

de regreso al depósito subterráneo. La solución nutritiva en tra y sale de las tinas a través del canal de drenaje que se encuentra en el fondo de cada una de ellas. Este canal se re cubre con tejas de barro, asbesto o madera formando una U o V invertida. Estas tejas deben tener menos de 6 a 8 cms. de al tura, 15 a 28 cms. de ancho y de 40 a 100 cms. de largo. Se únen una con otra a lo largo de la tina, sin encimarse, lo -- que permite el paso del líquido a través de cada una de las - uniones sin que quede espacio suficiente para que la grava pe netre al canal. El propósito de construir el canal y las tejas de este modo es, simplemente, el de propiciar el llenado y vaciado más rápido y uniforme posible de las tinas (15, 17, 37).

Estas generalidades referidas a los canales y a las te-- jas, son similares para casi cualquier tipo de diseño y método de cultivo en grava, por lo que no se insistirá en ellos - al explicar los demás métodos.

La figura 7.2 nos muestra un diseño de este método con - cultivo en grava.

Para agitar el agua al hacer una solución nueva se cierran las válvulas una y tres y se abre la válvula dos. Al - sub-irrigar la tina se abre la válvula uno y se cierra la -- dos y la tres. Si se desecha la solución vieja, se abre la válvula tres cerrándose la uno y la dos (37).

Con una bomba y un depósito adecuados es posible regar - varias tinas a la vez, forzando la solución a través de un - tubo principal con derivaciones en T a cada tina (37).

- B) METODOS DE ALIMENTACION POR GRAVEDAD: Cuando se tienen mu--- chas tinas, para poderlas irrigar a todas en 15 a 30 minu--- tos, se requiere el suministro de una gran cantidad de solu---

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1 Depósito | 8 Tubería para desechar |
| 2 Bomba | 9 Niple de cobre |
| 3 Conexiones en T | 10 Canal |
| 4 Codo | 11 Teja |
| 5 Valvula 1 | 12 Tina |
| 6 Valvula 2 | |
| 7 Valvula 3 | |

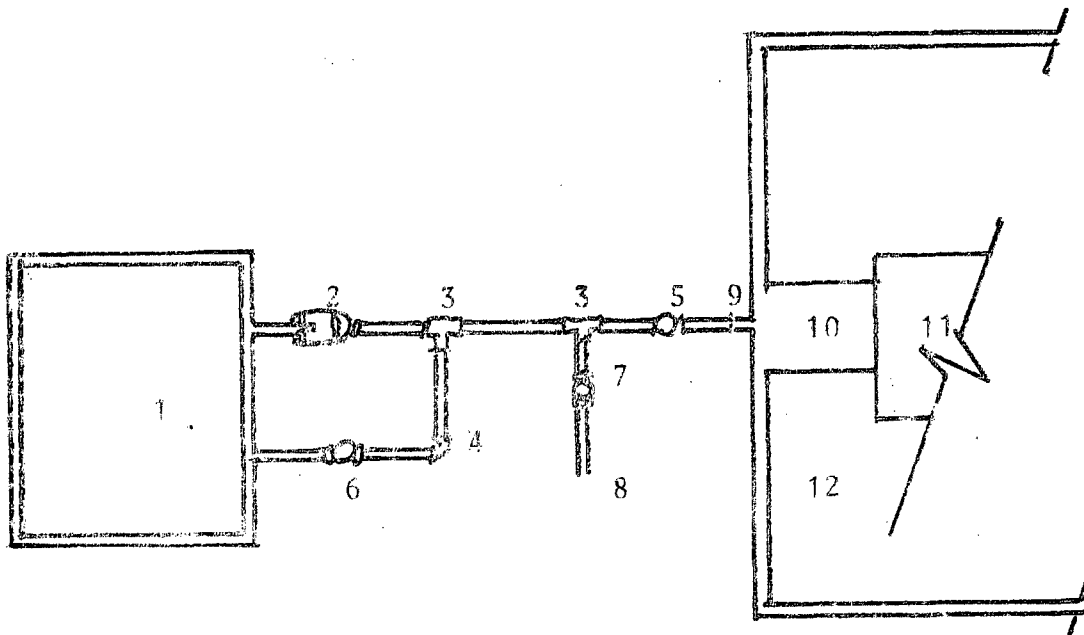


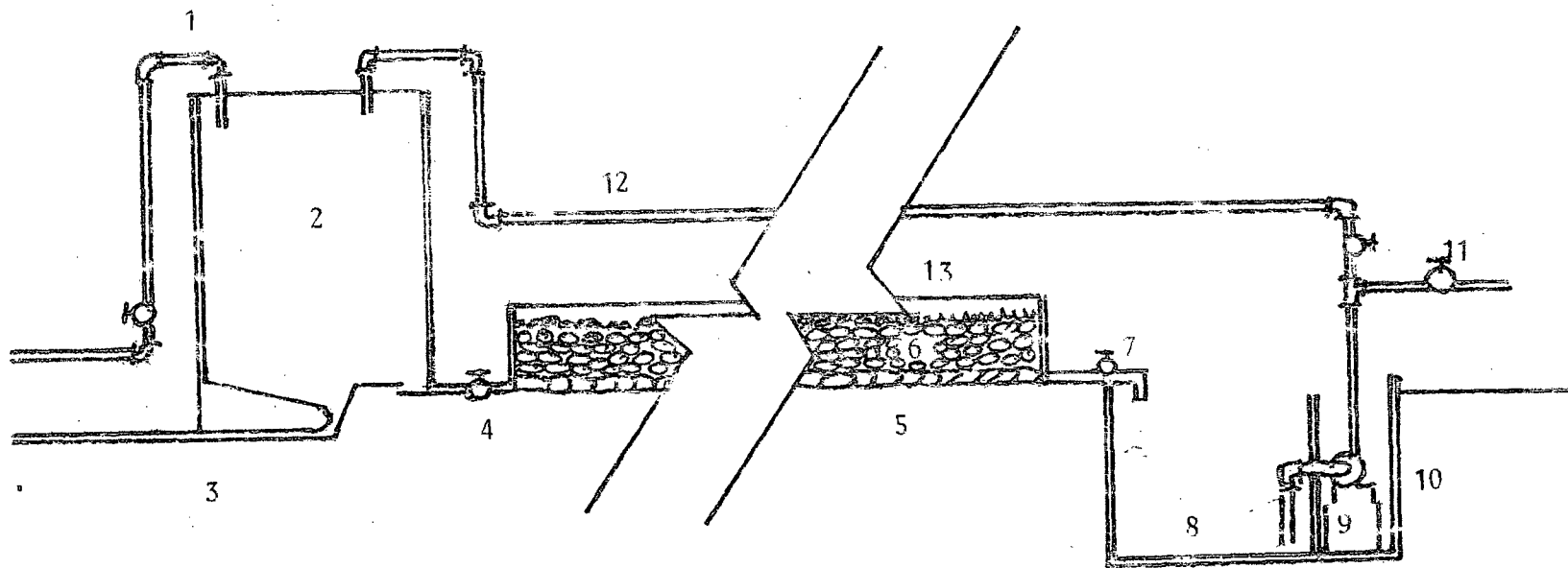
Fig. 7.2. DISEÑO PARA CULTIVO EN GRAVA MEDIANTE EL METODO DE ALIMENTACION DIRECTA Y PARA UNA TINA. HARRIS (1974).

ción por minuto. Con el método de alimentación directa se tiene que contar con varias bombas o pocas, pero de gran capacidad, situación que eleva los costos de instalación. Por ello se ha optado, con más frecuencia para instalaciones grandes, en utilizar diseños basados en el método de irrigación por gravedad, el cual consiste en construir el depósito de la solución arriba del nivel de las tinas. El riego se efectúa por gravedad; la solución drenada es captada por un tanque de descarga desde el cual se bombea la solución de regreso al depósito (15,17,37).

Existe una gran cantidad de diseños para irrigar por gravedad; uno de los más sencillos es el que se representa en la figura 7.3. Cabe hacer la aclaración de que aunque en esa figura sólo se representa una tina, la situación normal es que ellas sean varias trabajando con un solo depósito y una sola bomba (37).

El depósito de la solución puede ser de concreto o de acero. El diámetro de la tubería será lo suficientemente grande para abastecer a todas las tinas en menos de 30 minutos. La solución drenada se recoge en un tanque más pequeño de donde se bombea inmediatamente al depósito principal. La bomba puede ser de cualquier tipo, ya que sólo se requiere que regrese la solución en un tiempo relativamente amplio (antes de la siguiente alimentación). Cuando el volumen del líquido es mucho, se tiene que contar con una forma de mezclado mecánico para hacer la solución nutritiva (17,37).

Existen diseños en los que se puede tener más tinas sin necesidad de construir un depósito más grande para la solución nutritiva. Como este tipo de diseños implica la construcción de terrazas, su uso es muy adecuado en terrenos ondulados o con pendiente. La diferencia con respecto al diseño de la figura 7.3, es que al final de cada tina existe una llave de paso, que al abrirla permite el flujo de la solu---



- 1 ABASTECIMIENTO DE AGUA
- 2 DEPOSITO PRINCIPAL
- 3 DRENAJE PARA LIMPIEZA
- 4 VALVULA PARA IRRIGAR
- 5 CANAL CON TEJAS
- 6 GRAVA

- 7 VALVULA DE DRENAJE
- 8 TANQUE DE DESCARGA
- 9 BASE PARA LA BOMBA
- 10 BOMBA
- 11 VALVULA PARA DESECHAR LA SOLUCION
- 12 TUBO DE RETORNO
- 13 TINA

Fig. 7.3. PERFIL DE UN DISEÑO SENCILLO DEL METODO DE ALIMENTACION POR GRAVEDAD

ción a otra tina que se encuentra a nivel inferior; al final de esta tina existe otra llave de paso que la conecta con otra; finalmente la solución llega a un pequeño depósito de donde se bombea al depósito principal, dejándola lista para que recircule. Para compensar las pérdidas de líquido por evaporación, transpiración y retención, cada tina se construye un 20% menor que la antecedente. Las cadenas son generalmente de tres tinas (ver figura 7.4) (17,37).

En vez de llaves de paso puede adaptarse un mecanismo de sifón automático, como el de la figura 7.5.

Otro diseño de irrigación por gravedad es el que se conoce en el idioma inglés como flume system (sistema de canales). Este consiste en irrigar a las tinas conduciendo la solución a través de canales abiertos en vez de tuberías --- (ver fig. 7.6).

Generalmente, las tinas, el canal y los depósitos se construyen de concreto, por lo que deberán estar continuamente asfaltados (37).

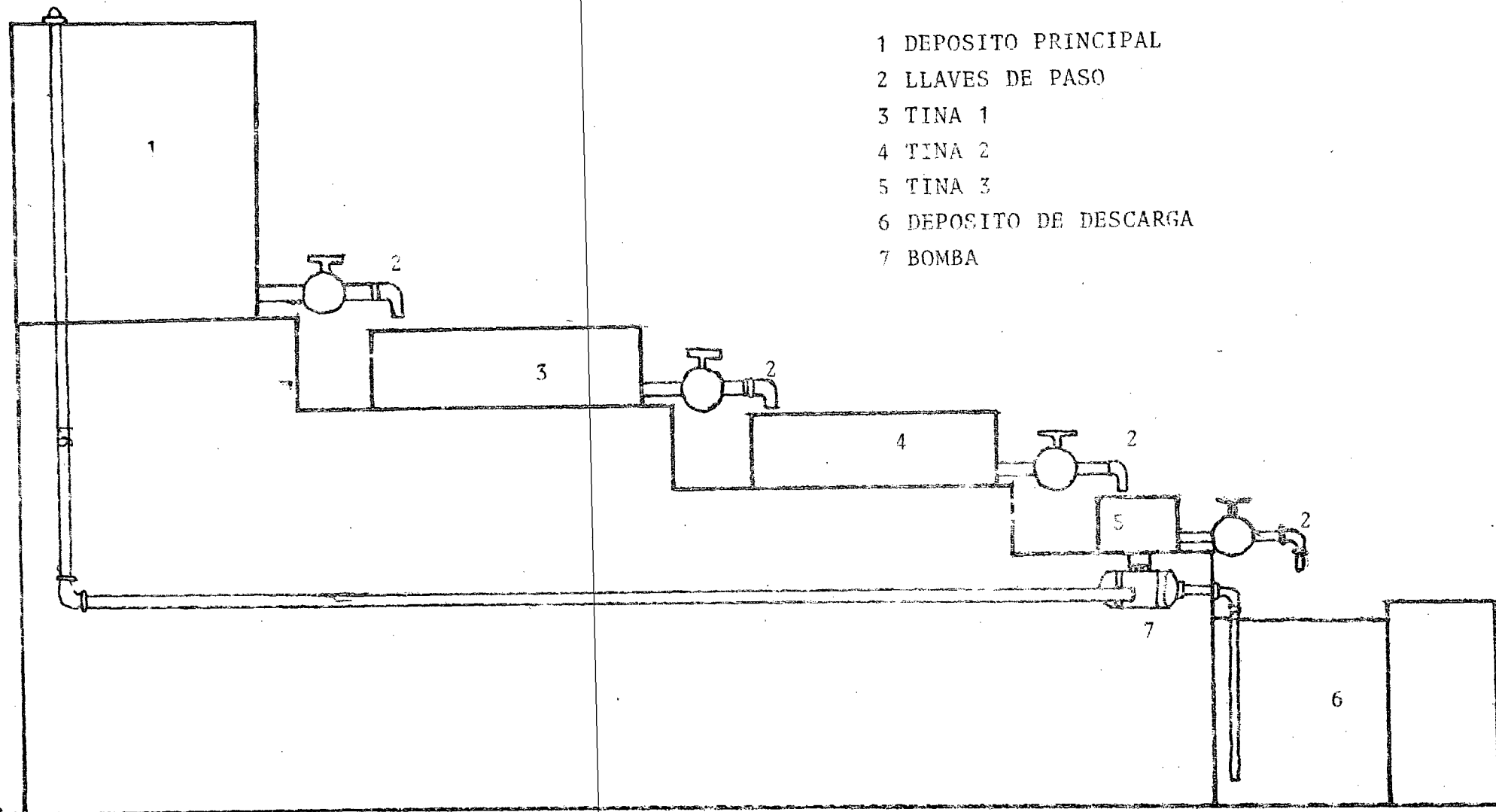
El uso de diseños con canal permite una gran reducción de la capacidad de la bomba, pero el depósito principal debe ser lo suficientemente grande como para permitir el llenado de cuando menos una sección (la mitad de las tinas), al mismo tiempo (17,37).

4.2.3.5. OPERACIONES GENERALES:

Anteriormente se han mencionado muchas operaciones: al discutirse los diferentes métodos de cultivo en grava, ahora sólo se hará referencia a las relacionadas con la siembra y el trasplante.

SIEMBRA: el cultivo hidropónico en grava permite la siembra

Fig. 7.4. PERFIL DE UN DISEÑO DE CULTIVO EN GRAVA CON ALIMENTACION POR GRAVEDAD CON TINAS CONECTADAS EN SERIE. HARRIS (1974).



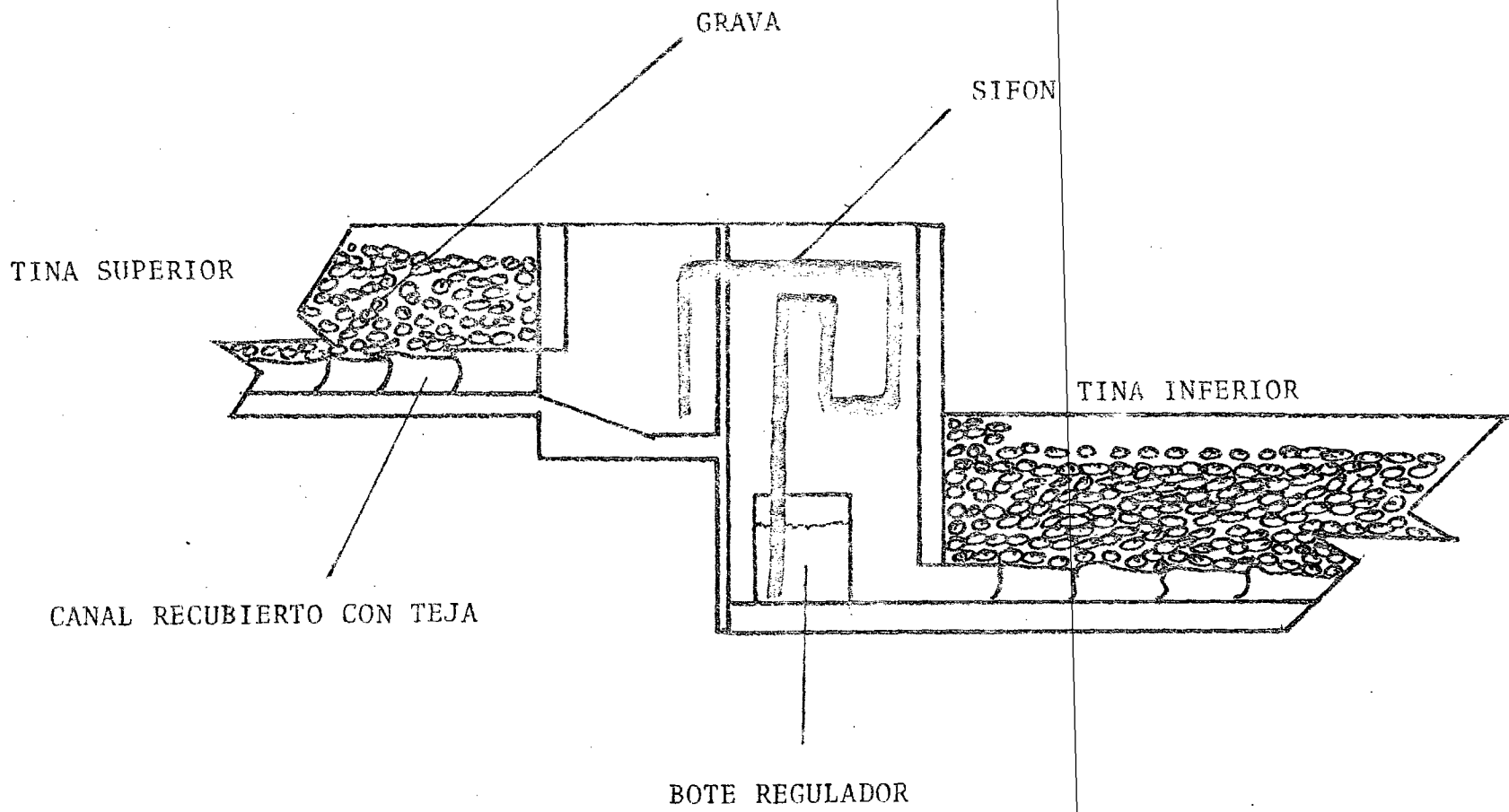


Fig. 7.5. MECANISMO DE SIFÓN AUTOMÁTICO PARA ALIMENTACION POR GRAVEDAD EN TERRAZAS. HOLLIS (1964).

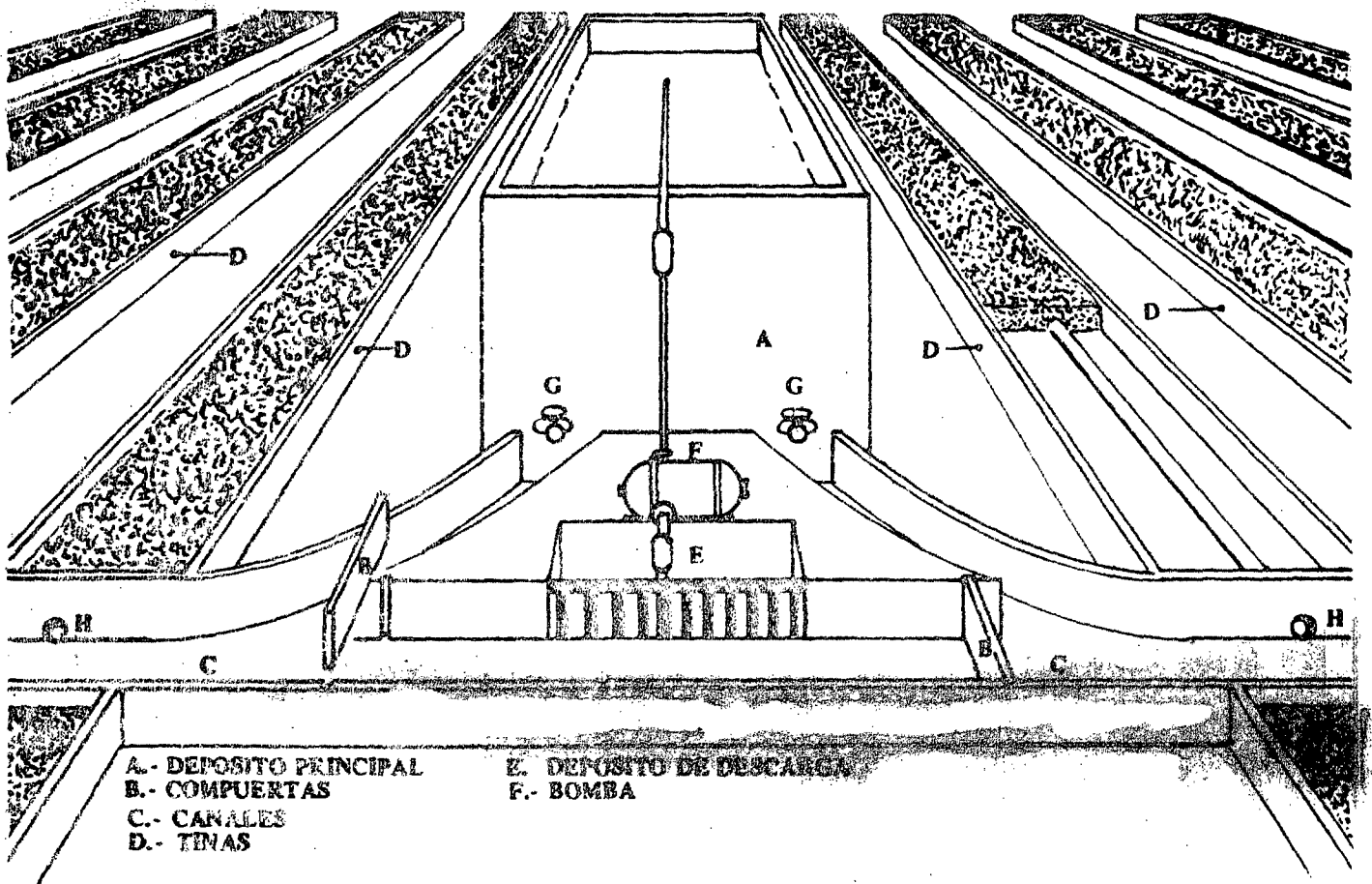


Fig. 7.6. DISEÑO DEL METODO DE ALIMENTACION POR GRAVEDAD A TRAVES DE CANALES.
 ELLIS Y SWANEY (1963).

directa de varias semillas; sin embargo, se requiere que éstas se siembren ligeramente más profundas que como se harían en suelo.(17,37).

Las ventajas de la siembra directa en grava son semejantes a las de cultivo en agregado, esto es: buen control de la humedad y de los nutrimentos, además de un mejor control de pudriciones tales como el estrangulamiento de la base del tallo (17,37).

Cuando se usa una grava de diámetro o de aristas irregulares, la siembra directa de semillas se puede complicar debido a lo difícil de enterrar la semilla y de regular la profundidad de siembra.

TRASPLANTE: La planta que se va a trasplantar puede provenir de otra grava, o de algún agregado de suelo. En el primer caso se saca con cuidado la planta y se trasplanta al lugar definido con todo y las partículas de grava adheridas a la raíz. En el segundo caso la planta se puede trasplantar a la grava dejando un bloquecito de agregado en las raíces o bien se puede lavar la raíz para que no se mezcle el agregado con la grava (37).

4.2.3.6. EVALUACION DEL CULTIVO EN GRAVA EN RELACION A OTRAS CATEGORIAS DE CULTIVO HIDROPONICO.

VENTAJAS

1. CONSTANTE RENOVACION DEL AIRE PARA LAS RAICES: este tipo de cultivo hidropónico es el que mejor aireación proporciona a las raíces de las plantas (37).
2. FACIL DE AUTOMATIZAR: la sub-irrigación en grava favorece la implantación de mecanismos de control automático (15,37).

3. MENOS COSTOS DE OPERACION: esto es una consecuencia directa de la planeación del diseño y de la reducción de la mano de obra originada por la automatización (15,17).
4. ECONOMIA DE NUTRIENTES: las soluciones se pueden usar durante períodos relativamente largos de tiempo; además, en instalaciones comerciales grandes, el análisis químico de la solución para restituir los nutrimentos gastados está plenamente justificado(15,17,37).
5. FACIL DE ESTERILIZAR QUIMICAMENTE: la grava es el material -- más fácilmente esterilizante con productos químicos como formaldehído, bromuro demetilo, agua oxigenada, etc. (37).
6. SE FACILITA EL COMBATE DE CIERTAS PLAGAS: muchos tipos de gusanos se pueden controlar inundando las tinas con solución; - de esta forma, los gusanos, o se ahogan o se mueven a la superficie del líquido, de donde fácilmente pueden sacarse y -- destruirse (15,37).

DESVENTAJAS

1. LOS COSTOS DE CONSTRUCCION Y EQUIPO SON MAS ELEVADOS: esto se debe a la construcción de tinas y grandes depósitos impermeables, al gasto en más bombas y lo de mayor capacidad, a más - tubería, válvulas, relojes automáticos, etc (15,37).
2. LAS PLANTAS SE MUESTRAN MENOS TOLERANTES: a las variaciones - de pH y temperatura de la solución que bajo cultivo en agregado; por ello se demanda una mayor habilidad técnica y conocimientos de química y fisiología vegetal por parte de los horticultores o floricultores que manejan este tipo de cultivo - hidropónico (15,37).
3. MAYOR DIFICULTAD DE ANCLAJE PARA LAS PLANTAS QUE EN AGREGADO

O SUELO: por esta razón, y sobre todo a cielo abierto, se requieren barreras rompevientos o de un sistema de soporte, ya sea individual o por hileras de plantas (37).

4. LA GRAVA SUFRE DE CALENTAMIENTOS Y ENFRIAMIENTOS EXTREMOS: de acuerdo con la temperatura: debido a su alta conductividad -- térmica, la grava, en clima cálido y con el sol de mediodía, se calienta tanto (sobre todo la de color oscuro) que puede producir quemaduras considerables en los tallos y hojas de -- las plantas; en cambio, durante las noches frías, se puede en -- friar tanto que afecte las raíces y, por tanto, al crecimiento óptimo de la planta (15,37).

4.2.4. TECNICAS HIDROPONICAS DIVERSAS:

Además de las tres categorías principales de cultivo hidropónico existen una serie de técnicas, que, por ciertas consideraciones especiales deben estudiarse aparte.

4.2.4.1. TECNICA DE CULTIVO EN MACETAS DE BENTLEY.

Esta técnica de cultivo hidropónico desarrollado por el Dr. Maxwell Bentley, se publicó por primera vez en 1974, en su libro Hydroponics Plus, y responde a la idea de implementar métodos más baratos, de máxima producción y de uniformidad continua en la producción de cultivos (2).

Esta técnica, en lugar de utilizar tinas, hace uso de macetas de polietileno negro; que sean gruesas, las cuales son rellenas con un sustrato especial, en donde crecen plantas (generalmente grandes como jitomate, pepino o flores). Las bolsas se sostienen por bloques de hormigón, cuyas cavidades también se rellenan con sustrato permitiendo el crecimiento de plantas más pequeñas (lechuga por ejemplo). (2).

El sustrato de Bentley propone una mezcla homogénea de -

los siguientes materiales:

- I. Agregados secos
- | | |
|------------------------------|---------------------|
| Vermiculita | 1.8 m ³ |
| Turba vegetal | 1.2 m ³ |
| Arena de río lavada o limpia | 0.9 m ³ |
| Carbón vegetal de 3 a 6 mm. | 0.45 m ³ |
- II. Fertilizantes que se agregan a la mezcla anterior en seco y mezclando profusamente
- | | |
|---------------------|----------|
| Yeso | 6.8 Kgs. |
| Superfosfato simple | 1.8 Kgs. |
- III. Finalmente se añaden a la mezcla, disueltos en 60 litros de agua, los siguientes fertilizantes:
- | | |
|---------------------------------------|------------|
| Nitrato de potasio | 1.8 Kgs. |
| Sulfato de magnesio
(sal de Epsom) | 0.453 Kgs. |
| Quelatos de fierro
(sequestrene) | 0.057 Kgs. |
| Borax | 0.028 Kgs. |

Esta mezcla será suficiente para llenar 100 bolsas de polietileno de 30 cms. de diámetro por 45 cms. de alto (2,37).

El llenado se efectúa de la siguiente manera:

a) Se hacen perforaciones pequeñas (como de 3mm. de diámetro en la parte inferior de las bolsas, para que pueda drenar libremente la solución.

b) El borde superior de la bolsa (boca) se dobla hacia afuera unos 5 cms. para darle más tensión a ésta.

c) Se llena la bolsa con una capa de aproximadamente 10 cms. de grava en la parte inferior y una capa de aproximadamente 27 a 28 cms. de la mezcla propuesta por Bentley o de algún otro tipo de agregado (por ejemplo arena con jal).

El sistema de irrigación es parecido al de riego por goteo, sólo que en vez de goteros tiene boquillas que rocían de 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 (2).

En la fig. 8.1 se puede apreciar esquemáticamente la distribución de las macetas y el sistema de irrigación.

Como se podrá observar, la solución no se recupera. Cada semana se irrigan las macetas con agua para remover el --- exceso de sales (2).

4.2.4.2. TECNICA DE LA PELICULA NUTRITIVA.

La NFT es una técnica de cultivo en agua, en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente - la solución de nutrientes (17).

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crop Research Institute, en Littlehampton (Inglaterra), en 1965. El término Nutrient Film Technique fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo - del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar) para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario (17).

Las tinas son sustituidas por tubos de polietileno negro dobladas de manera especial, por zanjas forradas y recubier--tas con polietileno negro o por canalitos 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 de polietileno (ver figura 8.2) (5).

La figura 8.3 muestra un diseño casero de la técnica de la película nutritiva que se puede hacer con tubos de polie-

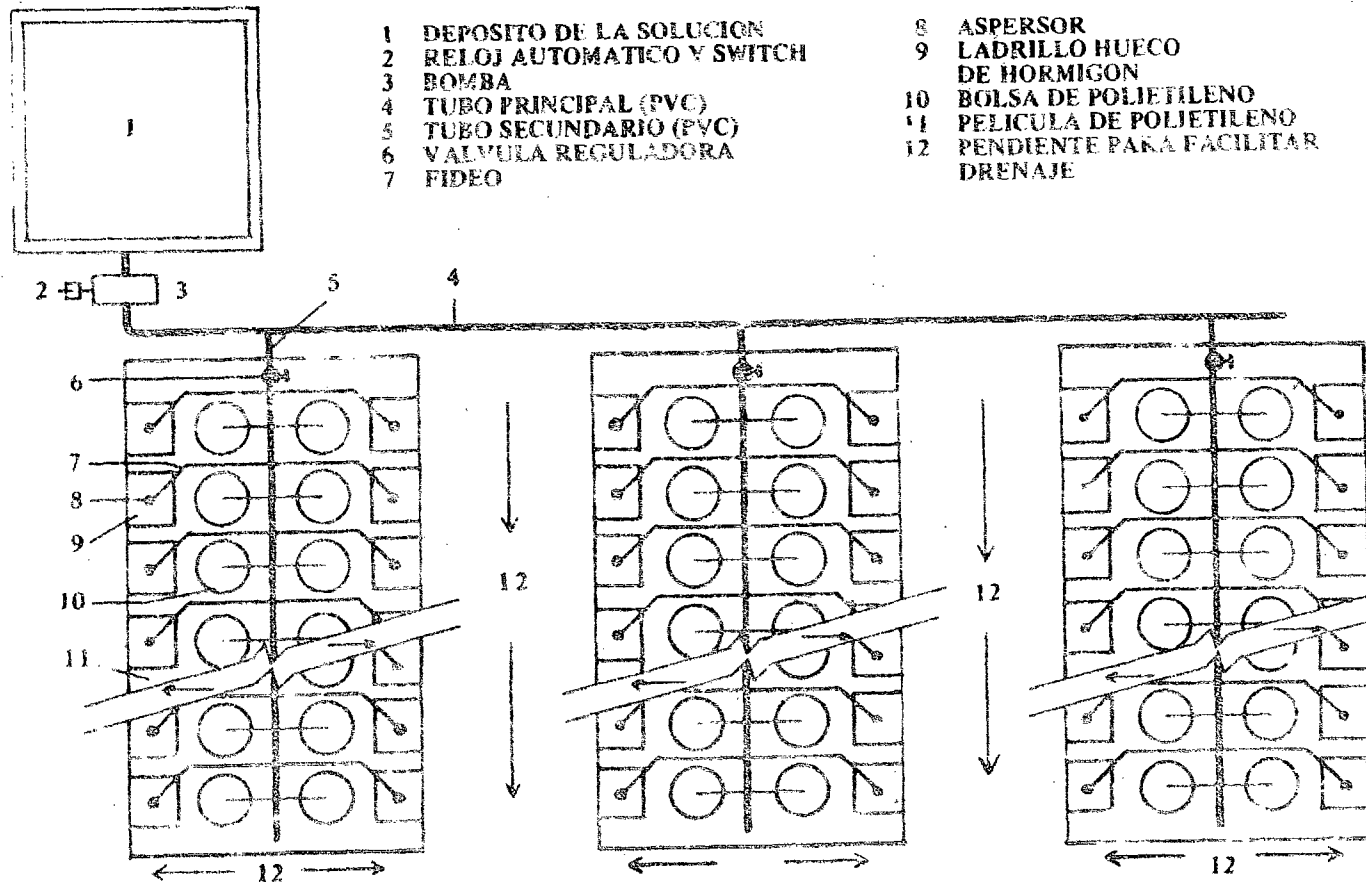


Fig. 8.1. DISTRIBUCION DE LAS MACETAS Y SISTEMA DE IRRIGACION DE LA TECNICA DE CULTIVO EN MACETAS PROPUESTA POR BENTLEY.

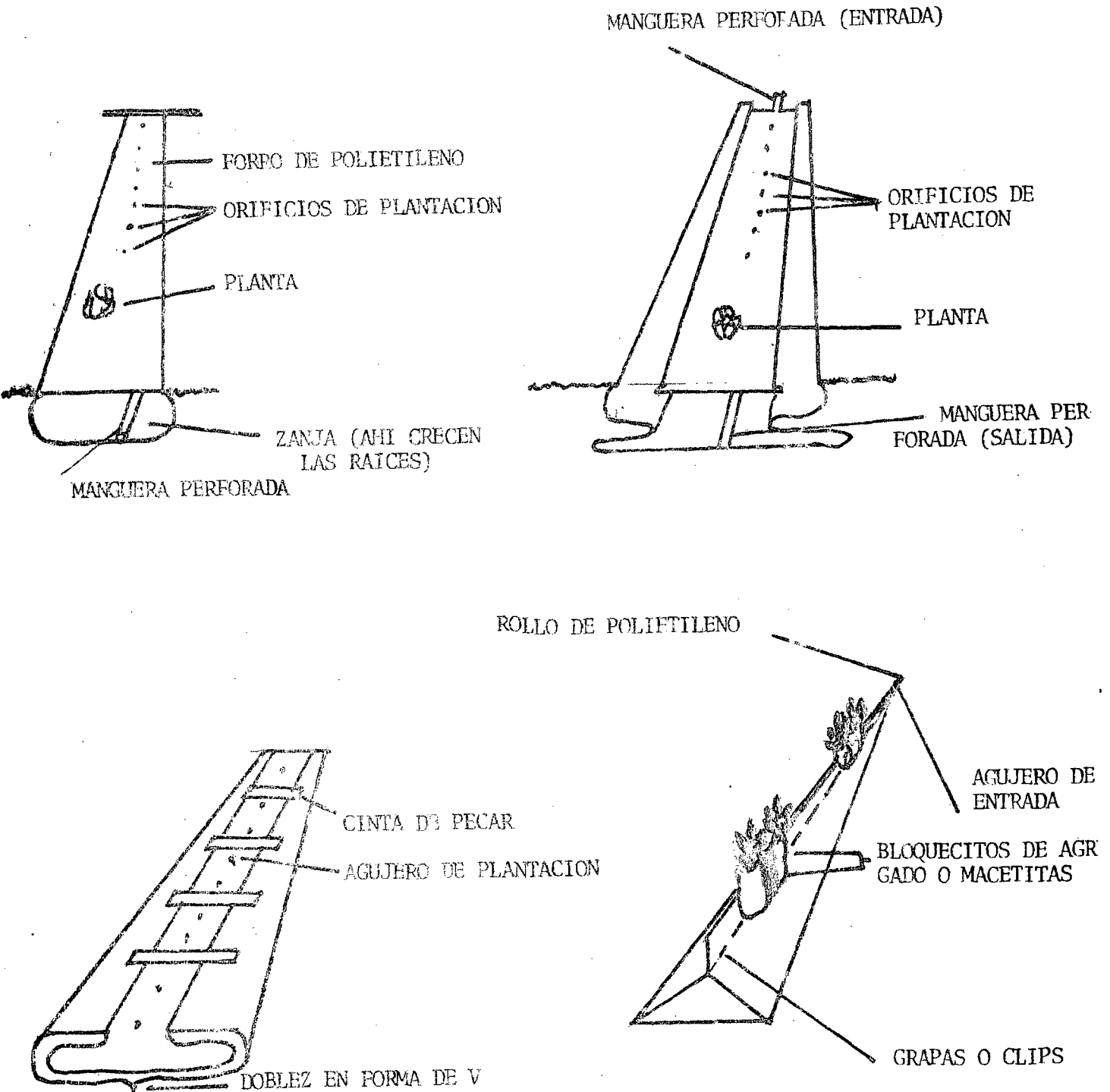


Fig. 8.2. DIFERENTES ARREGLOS PARA HACER UNIDADES DE POLIETILENO SIGUIENDO LA TECNICA EN LA PELICULA NUTRITIVA.

HOJA DOBLE DE POLIETILENO
NEGRO

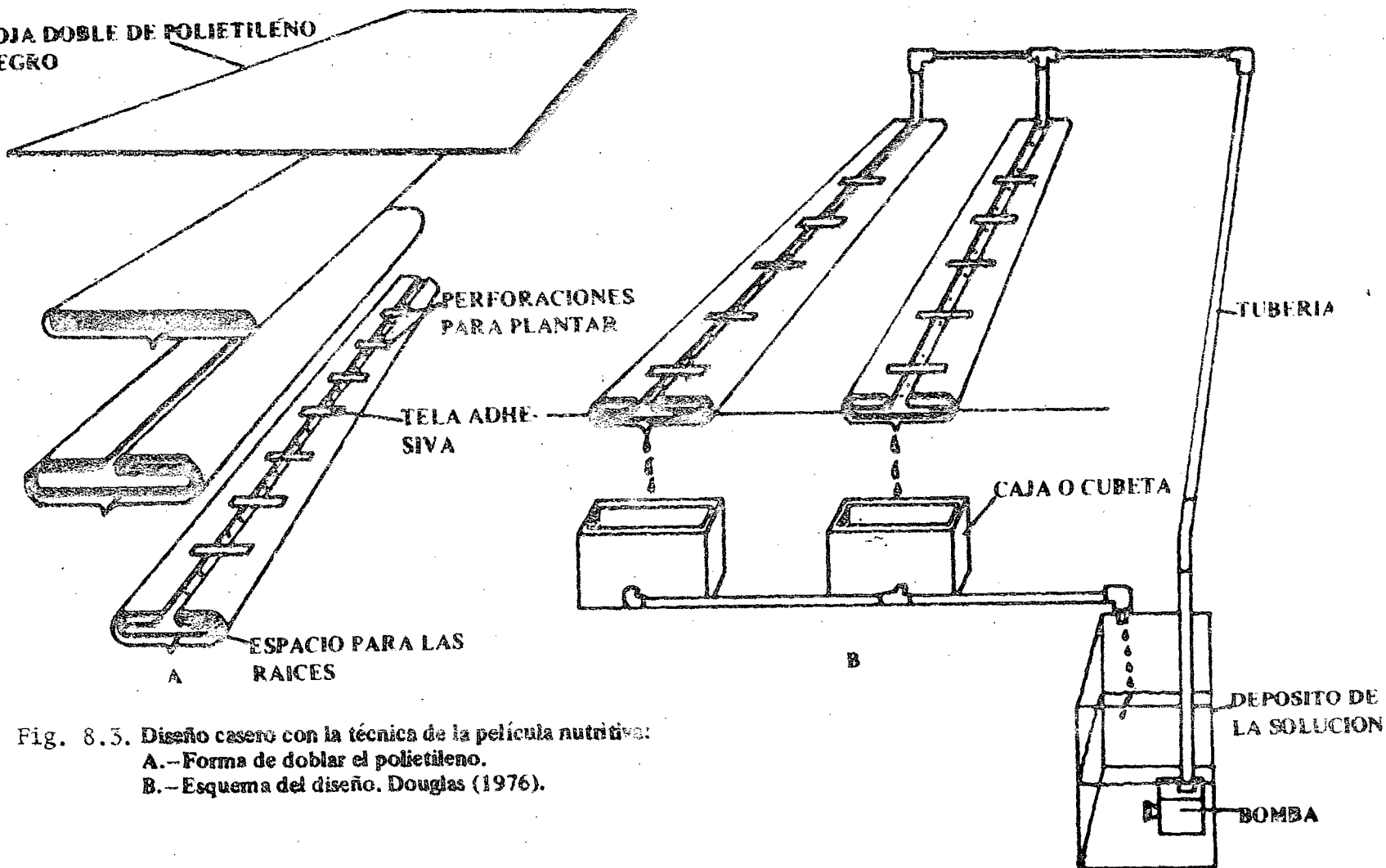


Fig. 8.5. Diseño casero con la técnica de la película nutritiva:
A.- Forma de doblar el polietileno.
B.- Esquema del diseño. Douglas (1976).

tileno negro de 80 cms. de ancho.

La figura 8.4 es un esquema de un diseño a gran escala de la técnica de la película nutritiva.

Los canalitos donde van colocadas las macetas son de polietileno 500 (0.127 mm) y pueden ser bastante largos (hasta unos 30 metros). El suelo donde se coloquen los canalitos no debe presentar ondulaciones, pero si pendientes mayores del 1% para evitar cualquier anegamiento (5,17,37).

Las semillas o esquejes se siembran directamente en cubos de turba, jiffy-7, arcilla prensada, o bien macetitas (repletas de algún agregado) hechas con papel asfaltado o tela plástica de la que se usa para hacer mosquiteros o canastas de mercado. Cuando la planta alcanza unos 5cms., las macetitas o bloques se colocan directamente en el polietileno, como ya se ha indicado, a la vez que se forma el canal de cultivo (5,17,37).

La bomba hace circular la solución hasta el tubo distribuidor (que mide generalmente 2.5 cms. de diámetro), el cual está a unos 5 cms. por encima de los canalitos 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 uniforme 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 entre a cada canalito (5,17,37).

Las raíces crecerán rápidamente a través de las macetas o cubos y se extenderán por toda la superficie inferior de los canales siguiendo el flujo de la solución. De esta forma llegarán a formar una capa continua y espesa en dicho fondo, que servirá como soporte a las plantas conforme se vayan des

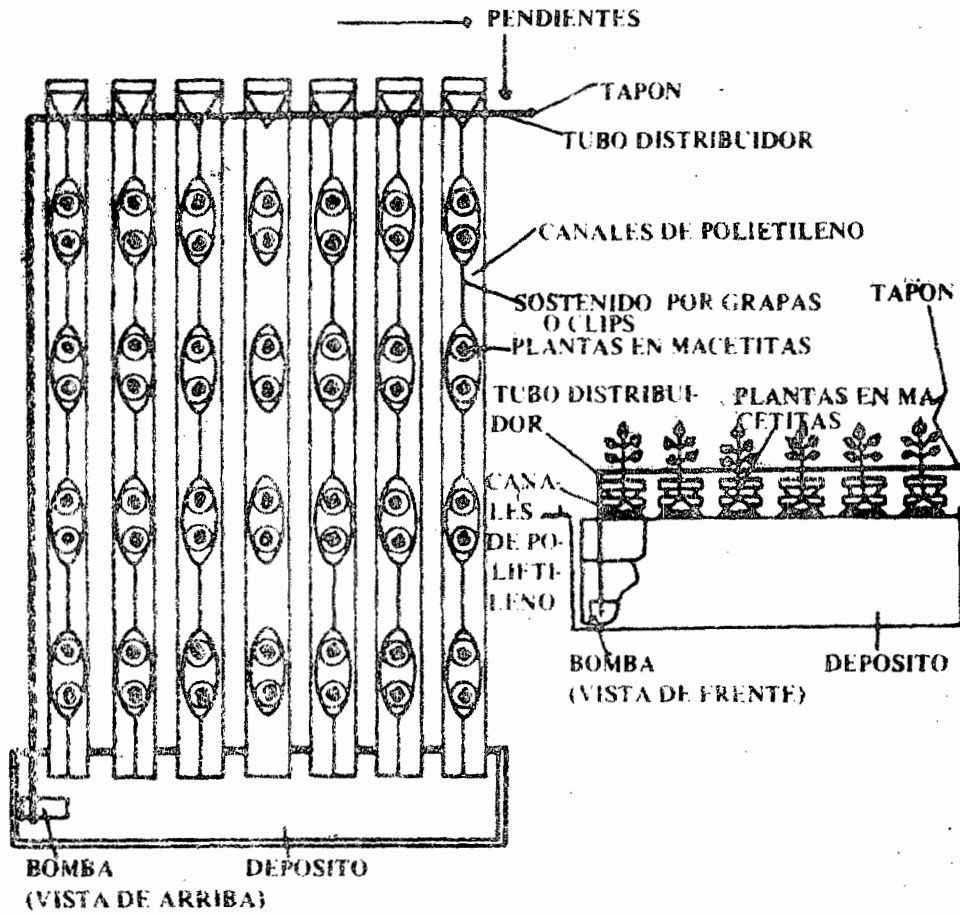


Fig. 8.4. DISEÑO DE LA TECNICA DE LA PELICULA NUTRITIVA A ESCALA COMERCIAL. Cooper, A.J. (American Vegetable Grower. Agosto 1974).

rrollando (5,17).

Tanto la zanja que sirve de depósito de recepción como el tanque de almacenamiento deberán estar cubiertos con un material opaco, por ejemplo polietileno negro, para de esta forma evitar la luz y prevenir la formación de algas (17).

Se debe mantener un volumen constante en el depósito, lo cual se logra mediante un flotador o con adiciones de solución diarias (5,37).

Se deben realizar análisis químicos de la solución en forma periódica, para ir sustituyendo las sales que se vayan agotando. También se puede renovar periódicamente (cada 8 a 15 días) (5,17,37).

Aunque las plantas pueden aguantar varias horas sin recibir agua, es conveniente contar con dos bombas para tener una de repuesto en caso de que la otra se descomponga (37).

Como ventajas de este sistema podríamos mencionar;

1. Bajo costo de capital.
2. Eliminación de la preparación de esterilización del suelo.
3. Rapidez en las labores para efectuar un cambio de cosecha.
4. Control muy preciso en la nutrición.
5. Mantenimiento de temperaturas óptimas en las raíces por medio de una calefacción de la solución de nutrientes.
6. Simplicidad de la instalación y de las operaciones.
7. Reducción del choque que sufren las plantas en su trasplante por medio de la utilización de macetas o cubos de cultivo, y de un precalentamiento de la solución de nutrientes de forma que las raíces tengan una temperatura óptima.
8. Fácil ajuste en la formulación de la solución de nutrientes para de esta forma poder controlar el desarrollo de las plantas al cambiar las condiciones de iluminación.
9. Utilización en la solución de nutrientes, de insecticidas sis

témicos y fungicidas para poder controlar tanto los insectos como las enfermedades.

10. Conservación de agua al utilizar un sistema cíclico en lugar de un sistema abierto.

4.2.4.3. TECNICA DE PRODUCCION INTENSIVA DE FORRAJE VERDE:

El cultivo de cereales con una solución de nutrientes en una cámara cerrada controlada ambientalmente, ha tomado -- una importancia comercial como base de producción de hierba fresca para alimentar a los animales a lo largo del año en el menor tiempo posible (5 a 10 días) (17,19,37).

La técnica básica consiste en charolas de producción, generalmente en serie, a las cuales se les administra la solución nutritiva mediante algún tipo de irrigación o bien, mediante atomizaciones (nebulización). En casi todos los diseños comerciales, las unidades de producción son recintos o -- construcciones cerradas en donde se mantienen, además de temperaturas de 22 a 25° C, aireación, ventilación y humedad relativa adecuadas al cultivo. Comúnmente se utilizan lámparas de 40 watts con reflectores para proveer a las plantas de iluminación continua las 24 horas (o cuando menos de 15 a 16 horas) (17,19,37).

Las charolas son largas y delgadas (aunque varían en sus dimensiones; 90 cm. de largo por 30 cm. de ancho y 5 cm. de alto). Se colocan mediante bastidores adecuados en filas horizontales y verticales. La distancia entre un piso y el -- otro debe ser de 30 cm. (19); aunque Sánchez (37) afirma que debería ser de 50 a 60 cm. Las charolas llevan una malla de alambre con espacios de aproximadamente 1 cm² y sirve para -- sostener a las raíces de las plantas. Encima de esta malla se coloca papel periódico o un material con propiedades semejantes de absorción. En la cara superior de este papel se colocan semillas remojadas previamente (unas 12 Hrs.) o pre-ger

minados de aveña, cebada, maíz, arroz, sorgo u otros cereales forrajeros. La cantidad de semilla oscila entre uno y tres kilogramos por metro cuadrado de charola dependiendo del cereal que se siembre. El rendimiento en el área dada de 1 m^2 , después de una semana de cultivo intensivo, es de 10 a 20 veces el peso de la semilla sembrada en peso fresco de forraje verde de alto valor nutritivo y de más de 20 cm. de altura -- (19,37).

Las charolas generalmente se irrigan con solución nutritiva durante los primeros cuatro o cinco días; después sólo con agua para asegurar una mayor dulzura y palatabilidad del forraje (37).

La solución, que es como cualquier tipo estándar de solución nutritiva, debe proporcionarse a media concentración. Aunque como fuente de nitrógeno conviene utilizar urea (19,37).

Los riegos se realizan diariamente, cada seis horas durante 5 minutos, con sistema de miniaspersión o nebulización colocados dentro de las charolas (19).

Las raíces de las plántulas absorben la solución y la iluminación continua, junto con la temperatura permanentemente alta, contribuyendo a un crecimiento rápido (37).

Las figuras 8.5 y 8.6 muestran los detalles de construcción de una charola para la producción intensiva de forraje; mientras que la figura 8.7 es un esquema de un diseño comercial.

Esta técnica puede ser de valor en zonas áridas o frías donde no se puede contar con una fuente permanente de forraje verde o los costos de adquisición del mismo son muy elevados (17,19,37).

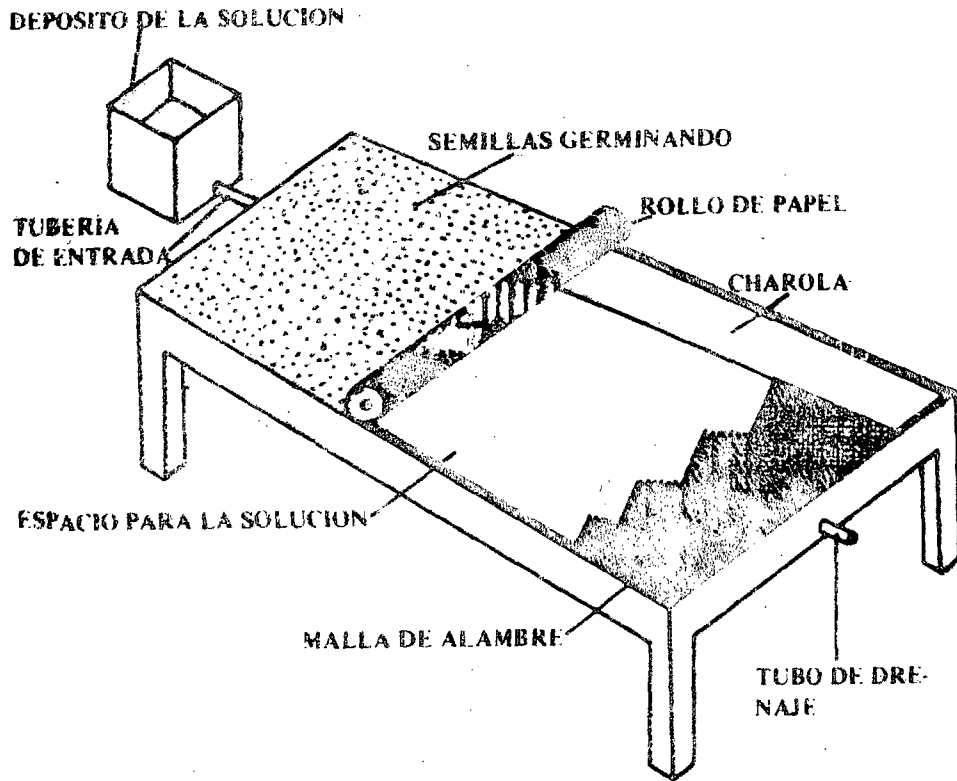


Fig. 8.5. ESQUEMA DE UNA CHAROLA TIPICA PARA LA PRODUCCION HIDROPONICA DE FORRAJE. DOUGLAS (1975).

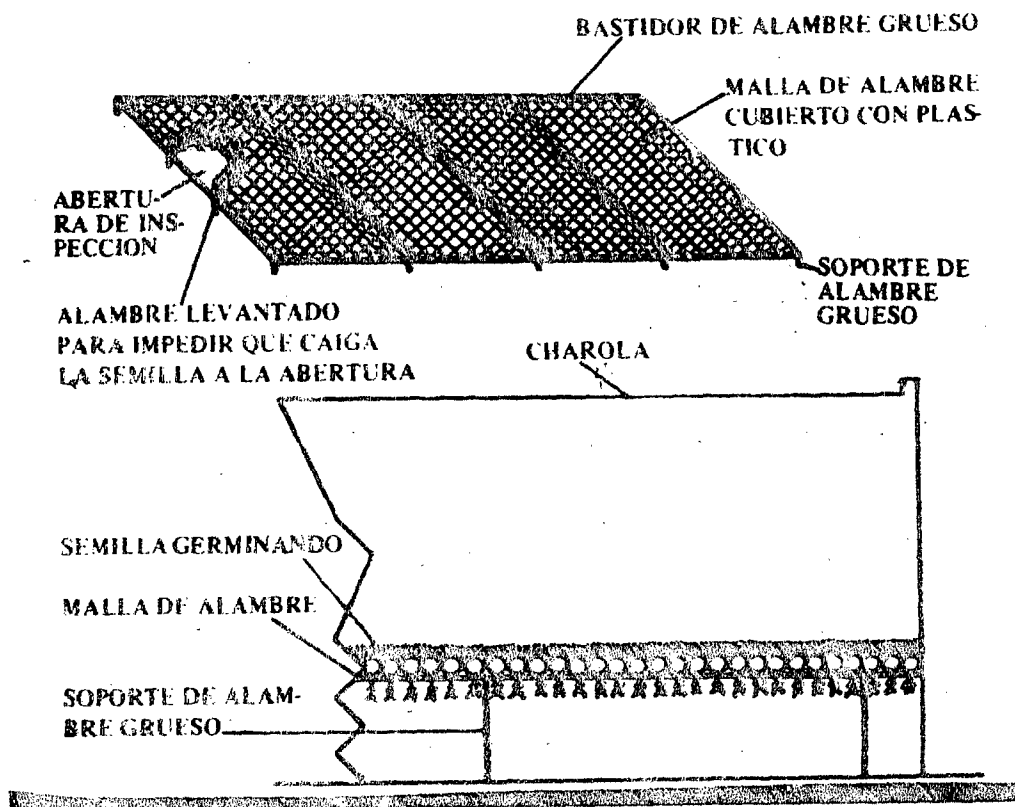


Fig. 8.6. DETALLE DE CONSTRUCCION DE LA CHAROLA PARA PRODUCCION DE FORRAJE. DOUGLAS (1975).

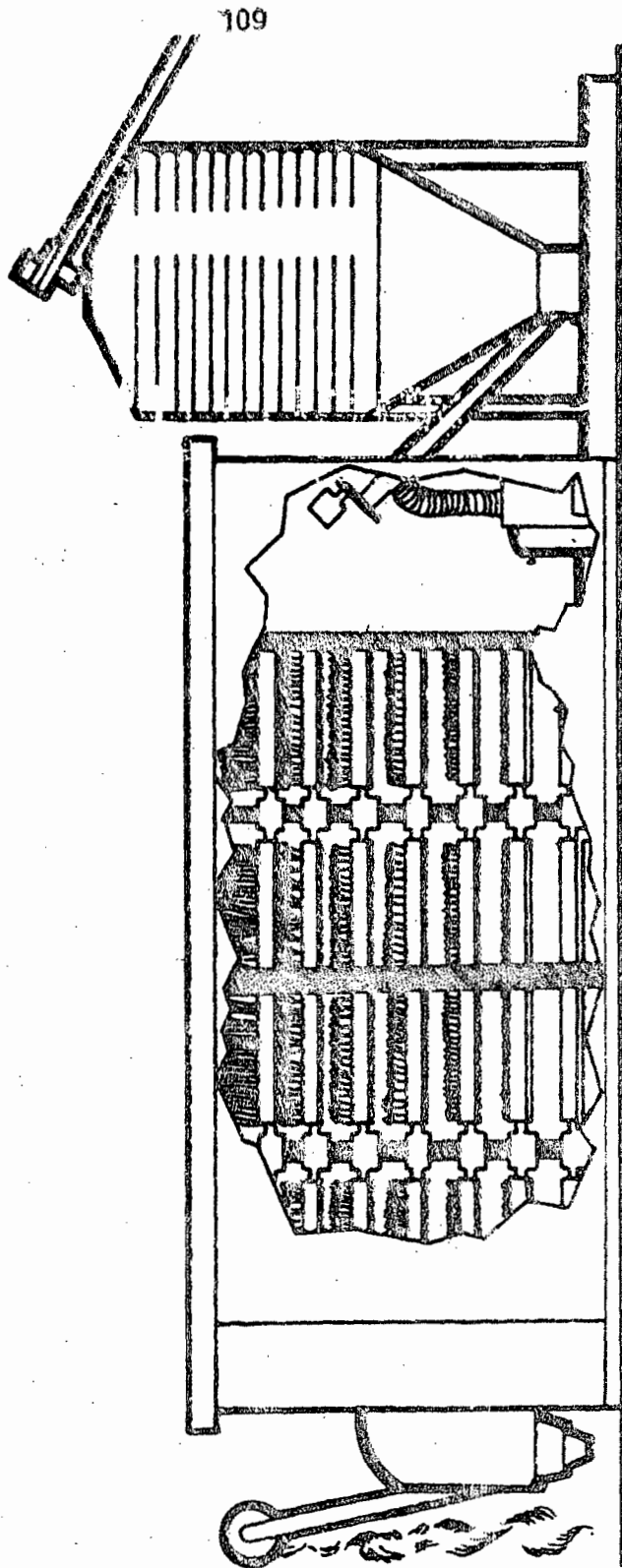


Fig. 8.7. ESQUEMA DE UN DISEÑO COMERCIAL DE PRODUCCION INTENSIVA DE FORRAJE
HIDROPONICO. DOUGLAS (1976).

También en el trópico, donde el calor es extremo y las vacas deben estar a la sombra el mayor tiempo posible, esta técnica puede resultar redituable (19,37).

Con el forraje producido se puede alimentar, no sólo a rumiantes (bovinos, caprinos y ovinos), sino también a cerdos, gallinas, pavos, caballos, etc. (17,19,37).

Los resultados permiten asegurar un mayor rendimiento de leche en vacas, del número de huevos en gallinas, o la ganancia de peso en cerdos (37).

VENTAJAS: Segun Lamas (19).

1. Normalización de la producción durante 365 días al año.
2. Alimento natural y libre de contaminación.
3. No depende del clima ni está expuesto a siniestros.
4. Buena adaptación por el ganado.
5. Fácil de racionar y proporcionarlo a los animales.
6. Permite la mejor utilización de esquilmos agrícolas, por la gran cantidad de enzimas que produce.
7. Rescate de minerales, proteínas y vitaminas que se pierden en el suelo.
8. Alimento producido en poco espacio.
9. Alimento de gran valor nutritivo.
10. Alimento de buena convertibilidad nutricional y digestiva.
11. Alimento producido a bajo costo.

DESVENTAJAS:

1. Los intereses del capital invertido para la instalación y los gastos de manutención y amortización.
2. Los gastos para el funcionamiento de la instalación y la adquisición de insumos.

4.2.4.4. AEROPONIA.

Es el cultivo de las plantas en recipientes opacos, que a la vez le sirven de soporte y en los cuales están suspendidas las raíces y bañadas en lo que podríamos llamar una neblina de solución de nutrientes. Este cultivo se utiliza frecuentemente en los estudios de laboratorio de fisiología vegetal y no es fácil encontrarlo en escala comercial. Algunas compañías italianas han utilizado, no obstante, este sistema en el cultivo de un gran número de cosechas, tales como lechugas, pepinos, melones y tomates (17).

Existen varios diseños para desarrollar la técnica aeropónica. Uno de ellos, muy fácil de operar y que no involucra maquinaria compleja se representa en la figura 8.8.

Los componentes del sistema son: (37)-

- A) Un motor.- Es el que mueve al nebulizador a una velocidad de 3,000 a 3,500 r.p.m.
- B) Una flecha.- De acero inoxidable de 1.27 cms. de diámetro y 33 cms. de largo, es la que conecta al motor con el nebulizador.
- C) Un nebulizador.- Hecho de material plástico ligero y durable crea el rocío en que las raíces de las plantas crecen. La punta del nebulizador penetra dentro de la solución absorbiendo la por la acción de la fuerza centrífuga generada por el motor. En la parte superior del nebulizador el líquido es nebulizado al ser forzado a salir a través de pequeñas perforaciones.

El recipiente donde las plantas crecen puede ser de madera forrada con dos hojas de polietileno, y sus dimensiones interiores son de 122 cms. de largo, 61 cms. de ancho y 45.7 cms. de alto (37).

A diferencia del cultivo en solución, las plantas siempre presentan un buen crecimiento radical, lo cual hace que -

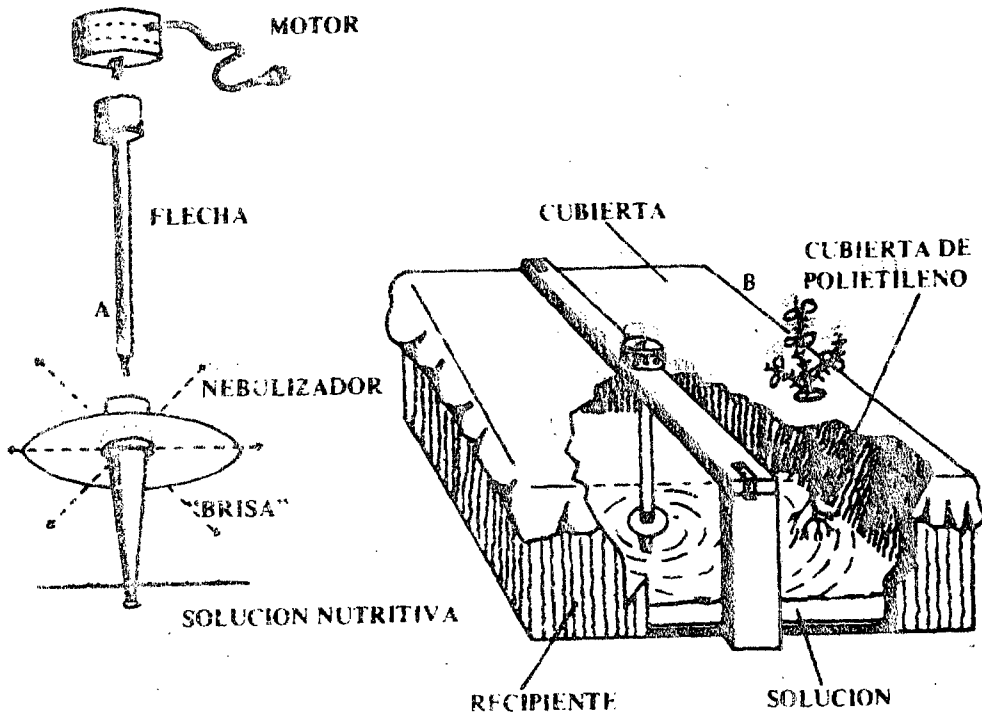


Fig. 3.8. ESQUEMA DE UN DISEÑO DE CULTIVO EN AEROPONIA. ZOBEL, DEL TREDICE Y TORREY (1976).

A.- COMPONENTES MECANICOS

B.- ESQUEMA COMPLETO

ésta técnica sea muy adecuada para estudios de nodulación en leguminosas; se cuenta además con que la inoculación de Rhizobium es sumamente sencilla: basta con introducir en la solución una pequeña cantidad de aspersión que contenga a esta bacteria (37).

También resulta importante el hecho de que la aeroponía permita estudiar completamente sistemas radicales intactos -- sin perturbarlos o dañarlos, y obtener muestras limpias para trabajos químicos o histológicos, sin la interferencia de sus tratos mecánicos (37).

4.2.4.5. CULTIVO HIDROPONICO DE ALGAS.

Desde que surgió el interés en las algas como una posible fuente de alimentación para animales y humanos, se ha estimulado el desarrollo de varios diseños para su cultivo hidropónico (37).

Se ha llevado a cabo con éxito el cultivo de algas en ciertos aparatos especiales, tales como tubos de polietileno o plástico transparente, o bien tanques impermeables cubiertos con cristal o plástico transparente. Debe existir algún mecanismo que haga circular el medio de cultivo (solución nutritiva) para que las algas no se estanquen en un solo lugar. El sistema también debe contar con un método de controlar la temperatura. Se requiere un rango de temperatura de 15.5 a 22°C, así como una intensidad luminosa mayor de 500 bujías-pie. Deberá introducirse bióxido de carbono a una concentración de aproximadamente 5% (37).

La concentración de la solución, y los nutrimentos usados, no difieren mucho de las soluciones usadas en hidroponía para las plantas vasculares (37).

Es indudable, que en un mundo en donde hace falta produ-

cir cada año más alimentos que el año anterior, es de extraordinaria importancia el realizar investigaciones tendientes a implementar sistemas de producción intensiva de alimentos, como es el caso de la producción hidropónica de algas (37).

5. LA SOLUCION NUTRITIVA.

5.1. GENERALIDADES.

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo los fertilizantes en agua para preparar la solución de nutrientes (12,17).

Ha sido declarado que la clave para lograr el éxito en los cultivos hidropónicos está en la solución nutritiva. Esto podría ser muy cierto; sin embargo para que un cultivo responda por completo a una solución nutritiva y lograr un potencial máximo de producción, deberá ser cultivado bajo condiciones ambientales óptimas y un buen manejo hortícola. Los cultivos hidropónicos no son diferentes a otras formas de horticultura: un cultivo podrá perderse drásticamente si no se provee de las condiciones ambientales correctas y de un manejo técnico correcto (ver cuadro No. 1) (12).

Weir (48), menciona que son indispensables los siguientes elementos para la nutrición de una planta: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, como macronutrientes; y fierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro como micronutrientes.

Todos los nutrientes mencionados anteriormente son tomados por las raíces. En hidroponia, la solución nutritiva deberá contener todos estos elementos y en las cantidades que requiera la planta (12). El cuadro No. 2, muestra el grado óptimo en concentración de cada nutriente en la solución, y éstos siguen un modelo similar al término medio encontrado por Weir (48), (ver cuadro No. 3).

Una vez que la solución nutritiva entra en contacto con las raíces de la planta, su composición es transformada inmediatamente para su asimilación. Las plantas tienen la habilidad de poder seleccionar los nutrientes dependiendo de sus ne

CUADRO 1. RENDIMIENTO DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO (37).

CULTIVO	RENDIMIENTO MEDIO EN SUELO (ton/Ha/cosecha)	RENDIMIENTO MEDIO EN HIDROPONIA (ton/Ha/cos)
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
TABACO (hojas al 17% de humedad)	1.5-2.0	4.7

CUADRO 2. RANGO OPTIMO DE LA CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA SOLUCION, SEGUN HANGER (12).

RANGO EN CONCENTRACION mg/lt. (ppm.*)			
MACRONUTRIENTES		MICRONUTRIENTES	
NITROGENO (Forma Nitrato)	70-200	FIERRO	0.5-5.0
NITROGENO (Forma Amoniaco)	0-31	BORO	0.1-1.0
FOSFORO	30-90	ZINC	0.02-0.2
POTASIO	200-400	COBRE	0.02-0.2
CALCIO	150-400	MANGANESO	0.1-1.0
MAGNESIO	27-75	MOLIBDENO	0.01-0.1
AZUFRE	60-333	CLORO	hasta 350

* ppm. = partes por millón.

CUADRO 3. COMPOSICION EN PORCENTAJE DE MINERALES EN LA PLANTA
(DESPUES DE SECADO), SEGUN WEIR (48).

MACRONUTRIENTES	CONCENTRACION	MICRONUTRIENTES	CONCENTRACION
NITROGENO (N)	3.0 %	FIERRO	0.01 %
POTASIO (K)	2.5	MANGANESO (Mn)	0.005
CALCIO (Ca)	2.0	BORO (B)	0.004
FOSFORO (P)	0.3	ZINC (Zn)	0.0030
AZUFRE (S)	0.3	COBRE (Cu)	0.0010
MAGNESIO (Mg)	0.4	MOLIBDENO (Mo)	0.00005
		CLORO (Cl)	0.05 *

* Mímino requerido esencial para el crecimiento.

cesidades, y esto puede ser totalmente independiente de la ración de nutrientes en la solución. Con el uso repetido no -- tan solo se precipita el nutriente, sino que ocurren cambios en el balance de nutrientes. Algunos nutrientes son asimilados con rapidez por la planta (nitrógeno, potasio), y otros -- relativamente despacio (magnesio, calcio). Si la solución es utilizada por un largo período sin renovarse, empieza a carecer de algunos nutrientes. Generalmente el nitrógeno es el primero en agotarse, y la aparición de síntomas de deficiencia es una buena señal de que la solución es débil (12).

El nitrógeno juega un papel importante en los cultivos -- hidropónicos, y es importante a la vez, conocer las necesidades específicas para cada cultivo (12).

5.2. FUENTES.

El cuadro No. 4, es una lista de sales (fertilizantes, -- sales minerales y reactivos químicos) utilizadas para preparar soluciones. El costo de la obtención de una solución nutritiva es un detalle importante para el productor. Muchas -- de las sales vienen en diferentes grados de pureza y por lo -- tanto a distinto precio (12).

La mayoría de las sales vienen como polvo o en forma de cristales. Un producto que sea aterronado o muy granular (su -- perfosfato simple o triple), deberá ser molido antes de utilizarse. Entre más nequeño sea el tamaño de la partícula, más rápido será la disolución de la sal en la solución (12).

5.3. METODOS PARA PREPARAR LA SOLUCION.

La solución nutritiva puede ser preparada de dos formas:

A. DE LA SOLUCION MADRE:

Este método es utilizado para preparar la solución de Hoagland, y ha sido utilizado para preparar soluciones en NFT. (Nutrient film technique). Sólo son utilizadas sales solubles.

- Paso 1.- Seleccionar la fórmula de nutrientes que será preparada, por ejemplo la de Hoagland.
- Paso 2.- Preparar soluciones madre de cada macronutriente en listado en la fórmula.

Generalmente estas son soluciones molares; por ejemplo el peso molecular en gramos de una sal en un litro de agua. Un ejemplo sería el siguiente: para preparar una solución molar de nitrato de potasio se disuelven 101 grs. en agua y se afora a un litro (12,37).

- Paso 3.- Elaborar soluciones madres de los micronutrientes. Debido a que solo se utilizan pequeñas cantidades, éstas no se preparan como soluciones molares (12).

El fierro es preparado por separado.

Para conveniencia y facilidad de manejo, todos los microelementos son mezclados juntos: para preparar una sola solución madre (12).

- Paso 4:- Agregar la cantidad de mililitros requeridos de cada solución madre. Debe asegurarse de que por lo menos el 80% del agua se encuentre en el depósito donde va a elaborarse la solución final. Se van agregando cada una de las soluciones madre, agitando regularmente junto con cada adición y antes de añadir la siguiente (37).

B. SALES AGREGADAS DIRECTAMENTE AL TANQUE DE NUTRIENTES:

- Paso 1.- Decidir la fórmula de nutrientes que se utilizará y el volumen de la solución requerido para la unidad hidropónica (12).
- Paso 2.- Calcular la cantidad de cada sal requerida para el volumen previsto. Se pesa cada sal por separado con un margen de error del 3 al 5% (12).
- Paso 3.- Llenar el tanque con agua hasta aproximadamente un 80% de su volumen final. Esto es muy importante, ya que si se añaden las sales con poca agua se interaccionarán y el calcio, fierro y fósforo se precipitarán como componentes insolubles (12).
- Paso 4.- Se agregan las sales en forma individual al agua, la cual deberá mantenerse bien agitada para auxiliar la disolución. Es recomendable agregar primero los micronutrientes (12).
- Paso 5.- Se agregan los micronutrientes. La mayoría de las soluciones nutritivas cuando están recientemente preparadas contienen entre 200-250 gr. de macroelementos disueltos en 100 litros de agua, y de 2-10 gr. de microelementos de los cuales el fierro es el mayor componente. Debido a la dificultad en pesar correctamente las pequeñas cantidades de microelementos requeridos, éstos se pueden proveer mejor de soluciones madre o de una mezcla de micronutrientes. Para preparar una mezcla en seco, se muelen primero los micronutrientes hasta lograr un polvo fino y luego mezclarlos a conciencia. Si se prepara 100 veces más de la cantidad requerida, todas las sales pueden ser pesadas con precisión en la mayoría de las básculas.(12).
- Paso 6.- Aforar la solución a 100 litros. Se ajusta el pH si es necesario. La solución está lista para su utilización (12).

5.4. CONTROL TECNICO DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS.

A) LA SOLUCION NUTRITIVA:

En los sistemas de agregado (cultivos en arena, grava y vermiculita), la solución de nutrientes deberá ser aplicada de manera que los agregados nunca estén secos ni permanezcan excesivamente húmedos o inundados por períodos muy largos. De esto último podría resultar una pobre aireación y la muerte de las raíces. De ahí la necesidad de variar la frecuencia de irrigación de acuerdo a los requerimientos de las plantas (12).

Una solución nutritiva que sea reciclada deberá ser renovada en un período promedio de 4-14 días, o se le deberá agregar nutrientes para ajustar la fórmula. La vida de una solución nutritiva varía dependiendo de la demanda de nutrientes por la planta (12,37).

En todos los sistemas hidropónicos es muy importante que sea reemplazada el agua que se pierda ya sea por evaporación, o por la transpiración de las plantas. Esto puede realizarse en forma manual o automáticamente colocando un flotador en el tanque de nutrientes. Durante la temporada de calor, el uso del agua es extremadamente elevado, y si ésta no se repone diariamente, el volumen de la solución remanente podría volverse inadecuado para mantener el nivel de humedad en las camas de agregados. Asimismo los nutrientes se concentran y en situaciones extremas podrían inducir un problema temporal de salinidad y afectar adversamente el crecimiento de la planta (12).

Todas la unidades hidropónicas en las cuales se utilicen agregados deberán ser sometidas a un lavado con agua cada 1 ó 2 meses. Esta práctica evita una acumulación de sales a niveles tóxicos en los agregados (12).

B) pH DE LA SOLUCION NUTRITIVA:

El pH de una solución, es la medida ya sea de su alcalinidad, neutralidad o acidez. La escala del pH parte del 0 al 14, siendo el 7 el punto de neutralidad. Una solución con un valor menor de 7 es ácida: entre más baja sea la solución, mayor es su acidez. Por el contrario, cualquier valor arriba - de 7 indica alcalinidad; entre más alto sea el valor; más alcalina será la solución (12).

El pH de una solución, puede ser determinado eléctrica-- mente con un potenciómetro, o en forma colorimétrica, ya sea con papel indicador universal o soluciones. El nivel máximo permitido en el pH de las soluciones nutritivas es de 4 a 9, las plantas que se cultiven en ambos límites de este margen, tendrá un crecimiento pobre y observarán problemas nutricionales. La mayoría de los cultivos crecen mejor en un nivel de pH de 6 a 6.5 sin embargo, las plantas pueden cultivarse a pH de 5 a 7.5 y se mandrán sanas con un crecimiento continuo. Las plantas pueden soportar niveles de pH mas amplios en una solución de nutrientes que en el suelo (12).

En una solución de nutrientes, el pH se elevará a la vez que las plantas toman nutrientes. El mayor peligro que surge de esta alteración del pH, es de que una vez que el pH excede de 7.5, algunos de los nutrientes podrían precipitarse y volverse inaccesibles, como ejemplo está el fierro y los fosfa-- tos de calcio. El problema del fierro puede ser controlado - mediante el uso de quelatos en lugar de sulfatos (12).

C) CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA:

La conductividad eléctrica provee de una medida total de la cantidad de sales disueltas en la solución. No especifica la cantidad de cada nutriente. Para obtener esta información es necesario realizar análisis químicos, los cuales son costosos (12).

D) CALIDAD DEL AGUA:

Como regla general, se dice que toda agua que se pueda beber o sea utilizada para irrigar invernaderos será ideal para la hidroponia. Para ser más precisos, el agua no deberá contener una solución total de sales menor de 700 ppm. (12).

Si sólo existe agua salina disponible (por ejemplo sales disueltas entre 700 y 3000 ppm.), tendrá que ser analizada químicamente para determinar qué tipo de sales están presentes y su concentración. En algunos casos es posible (como se ha logrado en Israel), formular soluciones nutritivas utilizando las sales que están presentes en el agua. Esta agua necesita ser analizada regularmente para detectar fluctuaciones temporales inesperadas en el contenido de sales. Toda agua que tenga un exceso de sales de 3,000 ppm. no es útil para la hidroponia (12).

CUADRO 4. CARACTERISTICAS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE ELEMENTOS ESENCIALES PARA ELABORAR SOLUCIONES NUTRITIVAS PARA CULTIVOS HIDROPONICOS. TOMADA DE SANCHEZ (37).

FUENTE	FORMULA	PESO MOLECULAR	CONTENIDO DE ELEMENTOS NUTRITIVOS (%) (CONSIDERANDO IMPUREZAS).	SOLUBILIDAD EN AGUA	GRAMOS REQUERIDOS PARA DAR 1 PPM. DEL ELEMENTO EN 100 LITROS DE AGUA.
NITRATO DE POTASIO	KNO_3	101	36 (K), 13 (N)	1:4	0.28 grs. = 1 ppm. de K 0.36 ppm. de N
NITRATO DE CALCIO	$Ca(NO_3)_2$	164	23.5 (Ca) 16.5 (N)	1:1	0.43 gr. = 1 ppm. de Ca 0.70 ppm. de N
NITRATO DE SODIO	$Na NO_3$	85	15.5 (N)	1:1	0.65 gr. = 1 ppm. de N
NITRATO DE AMONIO	NH_4NO_3	80	33 (N)	1:1	0.30 gr. = 1 ppm. de N
SULFATO DE AMONIO	$(NH_4)_2 SO_4$	132	20.5 (N)	1:2	0.49 gr. = 1 ppm. de N
FOSFATO MONOAMONICO (11-48-0)	$NH_4H_2PO_4$	115	27 (P) 11 (N)	1:4	0.37 gr. = 1 ppm. de P 0.40 ppm. de N

ACIDO FOSFORICO	H_3PO_4	98	31.5 (P)	SOLUCION CONCENTRADA DE ACIDO	0.26 cc. = 1 ppm. de P
FOSFATO DE AMONIO (18-46-0)	$(NH_4)_2-HPO_4$	132	23.5 (P) 18 (N)	1:2	0.43 gr. = 1 ppm. de P 0.77 ppm. de N
UREA	$(NH_2)_2-CO$	60	46 (N)	1:2	0.22 gr. = 1 ppm. de N
SUPERFOSFA TO SIMPLE	$CaH_4-(PO_4)_2$ H_2O (+ Otros materiales).	750 (aunque es muy variable)	26.6 (Ca) 7 (P)	1:410	0.38 gr. = 1 ppm. de Ca 0.26 ppm. de P
SUPERFOSFA TO TRIPLE	$CaH_4 (PO_4)_2$ H_2O	310 (también variable)	18.6 (P) 13.6 (Ca)	1:300	0.54 gr. = 1 ppm. de P 0.73 ppm. de Ca
SULFATO DE POTASIO	K_2SO_4	174	22.4 (K)	1:15	0.45 gr. = 1 ppm. de K
CLORURO DE POTASIO	KCl	75	52 (K)	1:3	0.19 gr. = 1 ppm. de K
SULFATO DE CALCIO (YESO)	$CaSO_4$ $2 H_2O$	172	23 (Ca)	1:500	0.43 gr. = 1 ppm. de Ca

	CLORURO DE CALCIO	$\text{Ca Cl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	219	18 (Ca)	1:1	0.56 gr. = 1 ppm. de Ca
	SULFATO DE MAGNESIO - (SAL DE EPSOM)	$\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.5	10 (Mg)	1:3	1.0 gr. = 1 ppm. de Mg
	SULFATO DE MAGNESIO (ANHIDRO)	Mg SO_4	120	20 (Mg)	1:10	0.5 gr. = 1 ppm. de Mg
	SULFATO FERROSO	$\text{Fe SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278	20 (Fe)	1:5	0.5 gr. = 1 ppm. de Fe
127	CLORURO FERRICO	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270	21 (Fe)	1:2	0.48 gr. = 1 ppm. de Fe
	SULFATO DE MANGANESO	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	223	25 (Mn)	1:3	0.4 gr. = 1 ppm. de Mn
	CLORURO DE MANGANESO	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	198	28 Mn	1:2	0.36 gr. = 1 ppm de Mn
	ACIDO BORICO	H_3BO_3	62	18 (B)	1:20	0.56 gr. = 1 ppm. de B

TETRABORATO DE SODIO (BORAX)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381	12 (B)	1:27	0.83 gr. = 1 ppm. de B
SULFATO CUPRICO	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250	25 (Cu)	1:5	0.4 gr. = 1 ppm. de Cu
CLORURO CUPROSO	$\text{CuCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	170	37 (Cu)	1:2	0.27 gr. = 1 ppm. de Cu
SULFATO DE ZINC	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	288	23 (Zn)	1:3	0.43 gr. = 1 ppm. de Zn
CLORURO DE ZINC	ZnCl_2	136	48 (Zn)	1:13	0.2 gr. = 1 ppm. de Zn

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La deficiencia actual que nuestro país tiene en la producción de alimentos, repercute en la alimentación del pueblo mexicano. La inseguridad en la producción del campo, por factores climatológicos, impiden un suministro constante de alimentos.

Una de las preguntas más difíciles de contestar y desde luego la primera que debe investigarse es la de ¿qué tan rentable es el cultivo hidropónico en relación al cultivo en suelo? Esto es difícil debido a que no es posible establecer con certeza cuanto cuesta establecer un sistema de producción en hidroponía, ya que esto depende de muchos factores; por ejemplo:

- Costo de la tierra,
- Métodos de mano de obra,
- Costo de mano de obra,
- Tipo de sustrato disponible,
- Fertilizantes disponibles y su costo,
- Operación manual y automática,
- Bajo cubierta o a cielo abierto, y
- Pequeña, mediana o a gran escala.

En términos generales varios autores señalan, que el capital invertido en instalar una unidad hidropónica se amortiza en uno y medio a dos años.

De acuerdo a lo anterior y haciendo un análisis de cada uno de los sistemas podríamos seleccionarlos en orden de preferencia de la siguiente manera:

1.- CULTIVO EN AGREGADO:

- a) Es el más adecuado para toda aquella persona que se

inicia en la hidroponía.

- b) Dadas sus características, es también el sistema más cómodo, barato y que más se presta para establecer un huerto familiar hidropónico.
- c) Es el método ideal para lograr una alta producción a la vez que ocupa más mano de obra, lo que es de importancia social para un país como México.
- d) Son estos tipos de sustratos los que más ventajas -- tienen como material para enraizar esquejes, para -- germinar semillas y desarrollar plántulas sanas.
- e) Es muy adecuado en los cultivos en los que se tiene que efectuar trasplantes, debido a que las plantas - casi no sufren ninguna depresión y el trasplante es más fácil.

2.- CULTIVO EN SOLUCION NUTRITIVA:

- a) Dadas sus particulares características, el cultivo - en solución, ha demostrado ser particularmente exitoso en lugares de clima cálido-seco con muchos días - soleados.
- b) Es muy útil en la investigación y con propósitos educacionales, sobre todo en estudios de nutrición vegetal.
- c) Se recomienda en lugares no adecuados para la agri-- cultura, donde no exista un sustrato adecuado para - otro tipo de sistema hidropónico o bien su costo y/o traslado sea muy elevado.
- d) Dado lo difícil de manejar, este sistema no es recomendable para aquellos que se inician en la hidroponia.

3.- CULTIVO EN GRAVA:

- a) No es adecuado para principiantes dadas sus particulares características y el alto riesgo que corre.
- b) El límite de rentabilidad es arriba de los 100 m² -- por lo que se recomienda para instalaciones grandes

y con propósitos comerciales.

- c) Se debe seleccionar a conciencia la clase y variedad de plantas para las particulares condiciones existentes. Aun el mas experimentado operador de cultivo en grava, debe usar el mejor método y poseer los conocimientos de química y fisiología, de lo contrario no producirá una cosecha satisfactoria (ni siquiera decente).

Para concluir solo resta mencionar la importancia que -- tiene el realizar investigación en esta área, con el fin de -- reducir, en un momento dado, los costos de instalación y operación de cualesquiera de estos sistemas, utilizando para -- ello equipo y materiales más económicos, pero que permitan obtener las condiciones propicias para lograr la germinación y desarrollo de los cultivos. De igual manera, efectuar estudios económicos para determinar hasta qué punto es posible -- desarrollar alguno de estos sistemas en las regiones agrícolas del país.

LITERATURA CITADA

- 1.- Attar, S. 1973. The effects of nutrient interrelationships on tomatoes in hydroponic culture. Proceedings of the Third Congress on Soilless Culture. P. 55-63.
- 2.- Bentley, Maxwell Ph. D. 1973. Hydroponics Plus; The Bentley System. O'Connor Printers. 231 P. USA.
- 3.- Bobin, G. 1979. Growing tomatoes using NFT. Commercial Applications of Hydroponics Seminar. Burnley Horticultural College. P. 7.1 - 7.3. USA.
- 4.- Contreras Mexicano, Casimiro. 1975. Efecto de la temperatura en la floración del jitomate. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura. U. de G. 58 P. México.
- 5.- Cooper, Allen. 1979. The ABC of NFT. Grower Books. 181 P. London, Great Britain.
- 6.- Cornillon, P. & Gouny, P. 1976. Influence of root temperature on plant growth in water culture. Proceedings of the Fourth Congress on Soilless Culture. P. 323-325.
- 7.- Curiel Ballesteros, A. 1980. Productividad del cultivo -- sin suelo a nivel familiar, ensayo con jitomate Lycopersicum esculentum. Tesis profesional. Esc. de Agricultura. U de G. 99 P. M-exico.
- 8.- Dennis, R. Hoagland & D.I. Arnon. 1930. The water culture method for growing plants without soil. Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution. Pub. 3491. P. 461, 463-467. USA.

- 9.- Douglas, J. Sholto. 1973. Nutrient-Film Layflats; a low capital-cost technique for commercial hydroponics. Proceedings of the Third Congress on Soilless Culture. P. 107-112.
- 10.- Escalona, A. L. & Melian, G.P. 1976. Sustratos y sus propiedades. Proceedings of the Fourth Congress on --- Soilless Culture. P. 303-309.
- 11.- Gosselin, C.T.J. 1979. NFT Systems. Burnley Horticultural College. Commercial applications of hydroponics seminar. P. 6.1-6.6. USA.
- 12.- Hanger, Brain C. 1979. Nutrient solutions and their preparation. Burnley Horticultural College. Commercial Applications of Hydroponics Seminar. P. 3.1-3.8. USA.
- 13.- Hanger, Brain C. 1979. Hydroponic fundamentals. Burnley - Horticultural College. Commercial Applications of - Hydroponics Seminar. P. 1.1-1.4. USA.
- 14.- Hardie, Jack. 1971. Sterilization of gravel culture and - other comments. Scientific Farms. San Antonio, Texas. USA.
- 15.- Hold, Leonard. 1971. Texas A & M Gravel Culture. Texas A & M University System. USA.
- 16.- Hollis, H.F. 1964. Profitable growing without soil. Great Britain, English Universities Press. 197 P.
- 17.- Howard, M. Resh Ph. D. 1982. Cultivos hidroponicos. Edic. Mundi-Prensa. Madrid. 287 P.
- 18.- Huterwal, G.O. 1981. Hidroponia, cultivo de plantas sin - tierra. Edit. Albatros. Argentina. 251 P.

- 19.- Lamas Sanchez, FCO. J. 1983. Producción de forrajes con el sistema hidropónico del modulo germinador inductivo de granos. Tesis profesional. Esc. de Agricultura. U. de G. 70 P.
- 20.- Larsen, J.E. 1976. Experience with the steiner nutrient solution on greenhouse tomatoes. Proceedings of the Fourth Congress on Soilless Culture. P. 231-233.
- 21.- Larsen, John E. 1980. Nutrient solutions for soilless culture. Texas A & M University System. USA.
- 22.- Larsen, J.E. 1981. Guidelines for greenhouse tomatoe production. Texas Agricultural Extension Service.
- 23.- Larsen, J.E. 1981. Peat-vermiculite mix for growing transplants and vegetables in trough culture. Texas A & M University System. USA.
- 24.- Larsen, J.E. 1982. Growers problems with hydroponics. Journal of plant nutrition. 5(8), 1091-1098. USA.
- 25.- Leon Gallegos, Hector M. 1982. Enfermedades de cultivos en el Edo. de Sinaloa. SARH-INIA. México. 262 P.
- 26.- Lynn Haile, Ramon. 1973. The economics of hydroponic vegetable production in an environmentally controlled system. Texas A & M University System. USA.
- 27.- Maas, E.F. & Adamson, R. 1969. Soilless culture for greenhouse tomatoes in Coastal British Columbia, Canada. Congreso mundial. 1969. P. 116-118.
- 28.- Martinez Ramirez, Jose Luis. 1978. Diagnóstico de enfermedades de plantas. Tesis Profesional. Esc. de Agricultura. U. de G. 99 P. México.

- 29.- Massey, D.M. & Winsor, G.W. 1980. Some responses of tomato plants to phosphorus concentration in nutrient film culture. Proceedings of the Fifth Congress on Soilless Culture- P. 205-213.
- 30.- Medina Esparza, J. Jesus. 1983. Respuesta del jitomate a N-P-K en suelos pedregosos esquilados de la zona-henequenera de Yucatan. Tesis profesional. Esc. de Agricultura. U. de G. 99 P. México.
- 31.- Melian G., Perez. 1976. Estudio de cuatro sustratos diferentes en relación con el numero de riegos con tomates en hidroponia. Proceedings of the Fourth Congress on Soilless Culture. P. 277-284.
- 32.- Melian G., Perez. 1980. Cultivo hidroponico de tomates. - Proceedings of the Fifth Congress on Soilless Culture. P. 119-125.
- 33.- New, Leon. 1981. Drip irrigation for tomatoe greenhouses. Texas Agricultural Extension Service. USA.
- 34.- Penningsfield & Kurzman. 1975. Cultivos hidropónicos y en turba. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- 35.- Rae, Jack W. 1969. Marketing from a produce buyer's standpoint. Sixth annual Texas greenhouse tomatoe growers conference. USA.
- 36.- Resh, H.M. 1976. A comparison of tomatoe yields, using several hydroponic methods. Proceedings of the Fourth Congress on Soilless Culture. P. 171-177.
- 37.- Sanchez del Castillo, Felipe & Escalante Rebolledo, Edgardo. 1981. Hidroponia- un sistema de producción. Universidad Autónoma de Chapingo. PATUACH. 176 P.

- 38.- Schwarz, M. 1975. Guide to the commercial hydroponics..3a. Ed. Jerusalem, Israel. Universities Press. P. 23-32; 46-55; 114-123.
- 39.- Segovia Romero, Alfredo. 1982. El cultivo del tomate en el ejido "Los Camachos" Mpio. de Ixtlahuacan del -- Rio, Jal. Tesis profesional. Esc. de Agricultura. - U. de G. 64 P. México.
- 40.- SEP-TRILLAS. 1983. Tomates. Manuales para la Educación -- Agropecuaria. Edit. Trillas. 54 P. México.
- 41.- Sonneveld, C. 1980. Growing cucumbers and tomatoes in --- rockwool. Proceedings of the fifth congress of soil less culture. P. 253-261.
- 42.- Steiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomatoe --- plants for ions in a nutrient solution. Proceedings of the Third Congress of Soilless Culture. P. 43-54.
- 43.- Steiner, A.A. 1976. Nomenclature with hydroponics. Proceedings of the Fourth Congress of Soilless Culture. P. 19-20.
- 44.- Steiner, A.A. 1976. El desarrollo del cultivo sin tierra y una introducción al cong-eso. Proceedings of the Fourth Congress of Soilless Culture. P. 39-56.
- 45.- Tropea, M. 1980. The control of strawberry plant nutri--- tion in the sack culture. Proceedings of the Fifth Congress of Soilless Culture. P. 477-483.
- 46.- Ward, Gordon Dr. 1968. Plant nutrient removal. Summary of the Second Biennial Northeast Greenhouse Vegetable Conference, Windsor, Ontario.

- 47.- Webster's Seventh New Collegiate Dictionary. 1965. Springfield, Mass. G. & C. Merriam Company, P. 408. USA.
- 48.- Weir, R.G. 1979. The plants nutrient requirements. Burnley Horticultural College. Commercial Applications of Hydroponics Seminar. P. 2.1-2.3. USA.
- 49.- Williams, John C. 1969. Mechanics of improving market -- conditions. Sixth Annual Texas Greenhouse Vegetable Growers Conference. Texas A & M University. USA.