

REPUESTA DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) A SEIS

SOLUCIONES NUTRITIVAS

Por Adel González M., I.A., M.S. (/)

Manuel Grillo Franco, I. A. (**)

I.— INTRODUCCION

El cultivo hidropónico se ha empleado desde hace muchos años en los estudios de fisiología vegetal, pero durante las últimas décadas éste método se ha adoptado comercialmente como un medio para la producción de mayores rendimientos y mejor calidad de los productos vegetales.

Este sistema adquiere cada vez mayor difusión principalmente en la producción de vegetales horticolas, habiendo logrado su mayor progreso durante la Segunda Guerra Mundial, cuando las fuerzas aliadas abastecieron a los combatientes en ultramar con verduras frescas gracias al empleo de este sistema.

El "cultivo de hortalizas sin tierra", como también es denominado este sistema, ha encontrado cierta resistencia a su difusión en la América Latina. Son muchos los factores que han incidido en la no adopción de dicha práctica en esta parte del mundo, pero las de mayor importancia pueden ser la falta de conocimiento de las técnicas, las costumbres alimenticias y la falta de investigaciones. Sin embargo, ya se puede hablar de los éxitos obtenidos por unidades comerciales instaladas en Colombia (Guamo, Tol.) Puerto Rico y Cuba; pero de ninguna manera se puede decir que en estos países esta es una práctica adoptada corrientemente más bien son ensayos empíricos resultantes de mentes inquietas y progresistas.

En nuestro medio, son innumerables las regiones donde se pueden predecir éxitos mediante el uso de cultivos hidropónicos, pero la poca o casi ninguna investigación ha influido notoriamente en que éstas técnicas sean desconocidas en nuestro país.

El presente trabajo tiene como objeto allegar los datos necesarios para posteriores investigaciones y para el empleo de este sistema a escala comercial.

(/) Jefe del Dpto. de Suelos.

(**) Instructor Asistente del Dpto. de Suelos.

II.— REVISION DE LITERATURA

El capítulo II, correspondiente a la Revisión de Literatura, está dividido esencialmente en dos partes; la primera se refiere a los aspectos más importantes de la nutrición vegetal, y la segunda a la explicación de las técnicas del cultivo hidropónico en gravilla el cual se ha encontrado como el más adecuado para las explotaciones a escala comercial.

Definición de hidroponía. Generalidades.

Ellis (22), usa el término "cultivo hidropónico" para designar el cultivo de plantas en cualquier material menos el suelo.

Huterwal (34), la define como "el método que consiste en provocar a las plantas los alimentos de que tiene necesidad para su crecimiento, por medio de una solución sintética de agua y de sales minerales diversas".

Sholto (49), la define como "el arte y la ciencia de cultivar plantas sin suelo, alimentándolas con soluciones químicas".

Son muchos los términos para designar sistema de cultivo de plantas, y en general ellos varían de acuerdo al sustrato empleado; así, cuando se emplea arena como medio de soporte, se denomina "cultivo en arena"; cuando se usa gravilla se habla entonces de "cultivo en gravilla" y cuando se emplean directamente las soluciones nutritivas se dice entonces de "cultivos en agua" ó acuicultura.

En 1929, el profesor W. F. Goricke de la Universidad de California introdujo por vez primera el término "hidroponía" con el cual se denomina genéricamente este sistema, (Sholto, 49).

Otros como Turner y Henry (56), sugieren la expresión "cultivos en soluciones nutritivas" para generalizar éste método de cultivo.

La solución nutritiva es definida como aquella que contiene todos los elementos esenciales en la forma de sales que la planta absorbe del suelo, (Miller, 41).

Es posible obtener tan buen desarrollo de muchas plantas en una solución acuosa de sales, como en el suelo ordinario, proveyendo aire a las raíces y todos los elementos minerales esenciales en proporciones no tóxicas, y además proveyendo todos los demás factores tales como luz, calor, bióxido de carbono y oxígeno en cantidades apropiadas, (Curtiz y Clarke, 17).

El cultivo de plantas en medios artificiales ha sido por muchos años una herramienta valiosa en la investigación fitofisiológica; sin embargo, últimamente ha adquirido gran popularidad entre agricultores y aficionados, (Shive, 48; Huterwal, 34).

Shive (48), agrega que esta amplia difusión en las últimas décadas se debe a las ventajas que ofrece este sistema dentro de ciertas condiciones.

Sholto (49), sostiene que el cultivo sin suelo puede dar a la India todo el alimento extra que ella necesita.

Según Dunn (20), el Doctor Gericke fué uno de los primeros en abocar el uso práctico y comercial de estos métodos. El doctor Gericke comenzó en 1936 a realizar cultivos sin tierra en "grande escala"; su sistema original se ha perfeccionado y tecnificado en los últimos años hasta obtener hoy en día instalaciones semiautomáticas, (Huterwal, 34).

En lo sucesivo y a través de todo este trabajo se utilizará el término "cultivo hidropónico" para designar el cultivo de plantas en cualquier medio menos el suelo, tal como lo proponen Ellis (22), Zapata y Avelle (58) y otros.

Breve historia de la hidroponía

La primera anotación experimental fué la de Woodward (1639) quien concluyó que las plantas requerían además de agua, ciertos elementos de la tierra pero que desconocía su naturaleza, (Curtis y Clark, 17; Ellis, 22).

Cerca de 1750, Duhamed du Monceau, comprobó los resultados obtenidos por Woodward, (Dunn, 20).

Más tarde, en 1804, de Saussure demostró que las raíces absorbían más agua que sales y que todos los compuestos no son absorbidos igualmente, (Dunn, 20). En 1840 Justus von Liebig publicó su libro "Disertaciones sobre la fisiología de las plantas" con el cual estimuló el estudio sobre la nutrición vegetal (Huterwal, 34).

Huterwal (34), también anota que el mérito de haber iniciado experiencias exactas en este campo científico correspondió al químico francés Jean Boussignault, a quién se le considera el precursor de los métodos modernos originarios de la hidroponía actual; comprobó la teoría mineral de la nutrición de plantas haciendo crecer éstas en arena, cuarzo y carbonilla impregnada en soluciones acuosas de fórmulas químicas conocidas.

Desde entonces se hicieron muy pocos estudios hasta Sach, Knop y Nobbe, quienes entre 1859 y 1865 desarrollaron el procedimiento general de cultivos en agua que está en uso en el presente, (Miller, 41). En este periodo se lograron importantes adelantos científicos: encontraron que la concentración óptima de la solución nutritiva era de 0,3% o menor y que el número esencial de elementos son los hoy conocidos excepto algunos microelementos, (Dunn, 20).

En 1860, Sachs propuso su primera fórmula de una solución nutritiva y en 1865, Knop propuso una solución que ha sido una de las más ampliamente usadas en el estudio de la nutrición vegetal; pos-

teriormente han sido muy numerosas las soluciones propuestas: Tollens (1882), Schimper (1890), Pfeffer (1900), Crow (1902), Totttingham (1914), Shive (1915), Hoegland (1920) y muchos otros, (Miller, 41).

A partir de 1900, una renovada y vigorosa actividad hizo énfasis en la absorción de los elementos nutritivos como iones más bien que como compuestos (Dunn, 20). En el período de 1900 a 1910 se determinaron cabalmente los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, (Miller, 41).

En las últimas décadas y después de la adaptación de este sistema en la producción a escala comercial, las técnicas se han modernizado grandemente. Así, han aparecido las de Brockart y Connor de New Jersey; el método moderno de New Jersey de R. B. Farnham y por último el método de R. B. Withrow de Universidad de Purdue, (Turner, 56).

Ventajas de la hidroponía

Algunos autores (8, 22, 34, 46, 48, 49, 57), consideran como ventajas de la hidroponía las siguientes:

- 1.— Mejor control de los nutrientes
- 2.— Menor gasto de fertilizantes
- 3.— Menor labor de operación. La economía de mano de obra consiste en menor tiempo para:
 - a.— Erradicación de las malezas
 - b.— Aplicación de fertilizantes
 - c.— Riegos
 - d.— Esterilización
- 4.— Relativamente libre de enfermedades fungosas
- 5.— Más rápido crecimiento
- 6.— Desarrollo de un mayor y más eficiente sistema radicular
- 7.— El sistema puede emplearse eficientemente como semillero
- 8.— Mayor producción a igualdad de área sembrada
- 9.— El costo de producción de hortalizas (entre ellas el pepino) es más barato en un 25% que por los métodos corrientes.
- 10.— Permite determinar la acidez y alcalinidad exactamente requerida
- 11.— La calidad del producto es mejor
- 12.— La fructificación es más rápida y más regular

- 13.— Algunas operaciones pueden hacerse automáticamente
- 14.— Permite aumentar la densidad de siembra
- 15.— Este sistema puede adaptarse en áreas donde no existen suelos agrícolas
- 16.— No hay pérdida de agua ni de fertilizantes ni tampoco de elementos nutritivos por drenajes
- 17.— En la producción de flores se puede controlar la intensidad del color y la calidad de los botones florales y aún ajustar la época de máxima producción.

Chouard (15), cita como una de sus principales desventajas el inconveniente de que por no poseer coloides como en el suelo, las plantas carecen de reservas nutritivas, estando sujetas a los accidentes operacionales, como falta de agua o errores en la dosificación de las soluciones.

Nutrición mineral

Antes de continuar con la revisión de literatura sobre las técnicas del cultivo hidropónico en gravilla, se consideró necesario contemplar en este capítulo varios conceptos fundamentales de fitofisiología referentes a la nutrición mineral con el propósito de dar bases a una discusión de esas técnicas hidropónicas expuestas más adelante.

Las plantas requieren minerales para varias funciones y es bien conocido que la mayoría de las reacciones biológicas son enzimáticas y que la mayoría de las enzimas tienen un metal como constituyente importante, (Clyde, 16).

Por su parte, Bonner (10), dice que la casi totalidad del organismo vegetal se compone de tres elementos: carbono, oxígeno e hidrógeno. El mismo autor agrega que, sin embargo las plantas no pueden vivir ni desarrollarse a base de agua y aire solamente, porque contienen y necesitan cierto número de elementos químicos que les son proporcionados a expensas de las sustancias minerales del suelo y a través del sistema radicular.

Los elementos que las plantas requieren en mayores cantidades, también denominados elementos mayores, son: nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, magnesio y azufre (Baron, 9). Y Mazé, un fitofisiólogo, fue el primero en sugerir los requerimientos de las plantas de ciertos elementos en cantidades mucho menores a los cuales llamó trazas, (Dunn, 20).

Mediante el uso de técnicas refinadas en nutrición mineral con soluciones nutritivas y con sales cuidadosamente purificadas, varios investigadores han adicionado los siguientes elementos menores a la lista de los esenciales: hierro, boro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno y cloro, (9, 10, 16, 20, 26).

Los investigadores encontraron que estos elementos fueron necesitados en las soluciones nutritivas solamente en muy bajas concentraciones (0,5 a 0,01 ppm.); por esta razón se denominaron elementos menores, trazas o microelementos, (Ellis, 22; Ferry, 26).

Ferry (26), dice que las plantas superiores pueden absorber todos los elementos que en forma aprovechable se encuentran en los suelos, y que por la misma razón la mayoría de los 92 elementos han sido encontrados en los tejidos vegetales sin que necesariamente todos ellos sean esenciales para su desarrollo.

Saunby (47), aclara el concepto de elementos esenciales al considerar que la importancia de estos elementos en la nutrición vegetal se demuestra por el hecho de que no pueden ser reemplazados por otros.

Sutcliffe (52), agrega que hay indicaciones de que varios elementos en adición a aquellos conocidos como esenciales, son benéficos para el crecimiento de las plantas y pueden llegar a ser indispensables para algunas; estos elementos son cobalto, sílice, sodio y vanadio.

Baron (9), dice que el sodio es frecuentemente absorbido por las plantas, pero no es esencial (excepto en halófitas), aunque su presencia es algunas veces considerada como benéfica. Así, Robert (45), encontró que la producción de pimentón en cultivos hidropónicos aumentó cuando se agregó sodio a la solución.

De acuerdo a lo anterior, Sutcliffe (52), dice que se ha encontrado que el sodio promueve el crecimiento de plantas bajo condiciones de deficiencia parcial de potasio, y agrega el mismo autor, que esto ha dado la idea de que el sodio puede sustituir al potasio en alguna extensión.

Por su parte, Chouard (15) y Sutcliffe (52), dicen que cada elemento debe estar en la concentración adecuada.

Chouard (15), expresando en ppm. la concentración de los elementos nutritivos, cita los límites extremos encontrados en diferentes fórmulas de soluciones nutritivas, las cuales son las siguientes:

<u>Elemento</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Óptimo aproximado</u>
Nitrógeno	50	500	100
Fósforo	10	500	100
Potasio	50	1000	100
Calcio	10	1000	100
Azufre	20	500	50
Magnesio	10	150	50
Hierro	0.5	10	5
Boro	0.2	5	1
Zinc	0.2	2	0,5
Manganeso	0.2	5	1
Cobre	0.2	2	0,5

Absorción de los elementos nutritivos

El proceso mediante el cual los nutrimentos penetran en las raíces de las plantas ha confundido durante muchos años a los investigadores de la fisiología vegetal.

El mecanismo de la absorción ha sido investigado extensamente durante los últimos treinta años, y aunque se puede decir que el proceso no es enteramente comprendido, se ha obtenido mucha información, (Sutcliffe, 52).

Por muchos años se consideró que la entrada de minerales a las raíces de las plantas era un proceso de difusión; se creyó que los iones minerales se combinaban con moléculas orgánicas y con otras en los tejidos de las raíces causando un gradiente de difusión, (Ferry, 26).

La primera idea era que las sales eran absorbidas pasivamente con el agua que entra a las plantas (Sutcliffe, 52). Ultimamente hay datos tan concluyentes que no quedan dudas de que la absorción de nutrimentos por las raíces se realiza independientemente de la admisión de agua, (Millar, 39).

Jennings (35), dice que los mecanismos por los cuales los solutos pasan al interior de las células no han sido clasificados en detalle, pero la distinción entre transporte pasivo y activo tiene un valor considerable.

El caso más simple de transporte pasivo es la difusión libre, principalmente en el movimiento de un soluto en el cual la rata de movimiento es determinada por una diferencia de concentración y a la vez es proporcional a ella, (Jennings, 35; Miller, 41).

Por otra parte, el transporte pasivo se define como la acumulación del soluto contra un gradiente de concentración y la necesidad del metabolismo para que ocurra tal acumulación, (Jennings, 35; Miller, 41).

Los abundantes datos demostrativos de que los diversos elementos nutritivos se hallan acumulados en las raíces de las plantas a una concentración muy superior a la que existe en la solución del medio externo, indica que existe un proceso diferente a la difusión en la absorción de nutrimentos, (Millar, 39).

Se ha aceptado que las sales inorgánicas penetran al protoplasma en forma disociada, aunque en algunos casos ciertos elementos lo hacen en forma no disociada, (Miller, 41).

Sutcliffe (52), concuerda con lo anterior al decir que para un crecimiento óptimo, los elementos esenciales se deben suministrar en formas solubles y en ciertas concentraciones definidas. A continuación se enumeran las formas como son absorbidos los elementos, mayores y menores, propuestas por Sutcliffe (52). Carbono (Dióxido de

carbono, bicarbonatos), Hidrógeno (Agua, varios aniones), Oxígeno (Agua, oxígeno, varios aniones), nitrógeno(nitratos, amonio), Fósforo (fosfatos), Azufre (sulfatos, Potasio (cationes), Calcio (cationes), Magnesio (cationes), Boro (boratos), Cloro (cloratos), Cobre (catión), Hierro (catión), Manganoso (catión, manganatos), Molibdeno (molibdatos) y Zinc (cationes).

Bonner (10), manifiesta que la entrada de agua ocurre median- te el proceso de difusión. Agrega que las membranas protoplásmicas permite la entrada y salida del agua pero obstaculiza casi por com- plete la penetración de otras sustancias.

Sin embargo, el valor alcanzado por la rata de la difusión del agua no solo depende del gradiente de concentración del agua sino también de la presión ejercida sobre ella (presión osmótica), Bonner, 10; Miller, 41).

Miller (41), dice que se pueden desarrollar fuerzas de imbibición muy fuertes en la planta aun cuando las paredes celulares y proto- plasmas contengan considerable agua.

Broyer (13), anota que la absorción de nutrimentos se conside- ra hasta ahora que ocurre por medio de la difusión y equilibrio de Donnan, absorción intercambiable y acumulación activa o metabó- lica.

Durante los últimos años han aparecido teorías completas del meccanismo de la absorción activa de iones.

La primera fué sentada por Lundegardle, la cual es generalmen- te aceptada en algunos hechos: 1) la absorción de aniones y cationes son procesos; 2) la absorción de cationes tiene lugar en dos pasos, uno comprende la absorción de iones de la solución externa y el otro la excreción de iones del citoplasma a la vacuola; el último paso constituye la acumulación real; 3) la absorción de iones es de dife- rente naturaleza. Es irreversible y tiene lugar no solamente contra el gradiente de difusión sino también contra la carga de la célula, (Burstrom, 14).

Barón (9), establece cuatro estados principales en la toma de minerales: 1) en el cual los iones minerales se difunden desde la solución en los espacios intersticiales del ápice radicular; 2) los iones pueden llegar a ser absorbidos en la pared celular; 3) pueden difundirse a través de la pared celular y la membrana citoplásmica, 4) finalmente, si la planta está deficiente de minerales estos iones pueden acumularse en la vacuola de esta célula, pero en el caso opuesto, si la vacuola ya tiene una alta concentración de iones, ellos pueden ser transferidos al citoplasma de la célula siguiente directa- mente, probablemente a través de conexiones protoplásmicas de célula a célula, el plasmodemata.

Kramer por su parte, resume las ideas actuales sobre la absor- ción de nutrimentos de la manera siguiente: no existen pruebas su- ficientes para considerar la absorción de aniones y cationes como el

resultado de procesos diferentes; en la absorción de iones hay que considerar dos pasos: el primero consiste en cierto tipo de intercambio que afecta a cationes y aniones (en gran parte el H^+ y OH^- ó HCO_3^-) en la superficie de las raíces y a los iones en la solución y coloides del suelo; el segundo consiste en el desplazamiento hacia las vacuolas celulares de los iones absorbidos en la superficie de las células, (Millar, 39).

Pfeffer citado por Sutcliffe (52), sugiere que los organismos vivos pueden poseer la habilidad para transportar sustancias a través de las membranas en una dirección particular y para inducir movimientos de célula a célula en ausencia de un gradiente de concentración. El mismo Pfeffer sugirió que la combinación química con los constituyentes celulares puede estar envuelto en estos procesos y así concibió la idea de "moléculas portadoras", la cual está ahora en uso.

El hecho de que se haya comprobado en las especies de algas marinas *Valonia* y *Nitella* que los iones Na, K, Ca, Mg y Cl están todos en una concentración mucho más alta en la vacuola que en el medio externo y que no todos los iones han sido absorbidos en la misma proporción, hace relieves dos fenómenos importantes: 1) la membrana citoplásmica tiene algún sistema por el cual los iones son absorbidos selectivamente y 2) que si la difusión contra el gradiente de difusión tiene lugar, es de suponer que es necesaria alguna energía para dirigir los iones a la solución interna más concentrada de la vacuola, (Baron, 9).

Como complemento a lo anterior, Ferry (26), sostiene que la actividad metabólica controla la cantidad de los iones acumulados en las vacuolas y sugiere que la acumulación iónica está de alguna manera relacionada con el proceso respiratorio.

Bonner (10), agrega por su parte, que la acumulación disminuye ó cesa al decrecer la actividad respiratoria, ya sea por disminución del oxígeno contenido en el medio, o por el empleo de sustancias químicas que actúan como inhibidoras específicas de la respiración.

Factores que influyen en la absorción de nutrimentos.

Hay dos grupos de influencias que determinan la rata y extensión de la absorción de solutos; estos factores pueden ser externos ó ambientales e internos. De los externos los más importantes son aireación, temperaturas y el suministro de agua y sales minerales.

Estas condiciones pueden alterar y determinar las condiciones físico-químicas y las ratas relativas de procesos, algunos interrelacionados con la absorción por las raíces, (Broyer, 13).

1.— Aireación.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, Bonner (10), resume

que la acumulación de una sal activa depende por completo de la existencia de un intenso metabolismo respiratorio en los tejidos, lo cual se demuestra observando que la falta de oxígeno impide el almacenamiento de sales.

Sutcliffe (52), reafirma lo anterior al sostener que en la ausencia de oxígeno el componente metabólico de la absorción de sales es inhibida en organismos aeróbicos.

Saubny (47), anota que un suministro adecuado de oxígeno en el medio es esencial para la formación de un sistema radicular sano y vigoroso.

Millar (39), dice que un aumento de bióxido de carbono en el medio de cultivo produce un rápido descenso de la absorción de nutrientes.

2.— Temperatura

Es otro factor ambiental que puede controlar la rata del proceso físico-químico.

Broyer (13), sostiene que hay un aumento en la rata de acumulación y respiración cuando se eleva la temperatura del medio externo. Sin embargo, Sutcliffe (52), dice que la rata de absorción aumenta hasta un máximo y disminuye otra vez a temperaturas más altas. Agrega que a temperaturas superiores a 40°C se reduce la absorción progresivamente en muchas plantas debido a una inactividad enzimática; lo mismo puede decirse a temperaturas cerca de 0°C.

En trabajos realizados con avena, Zhurbitskii y Stransberg (59), encontraron que en un intervalo de 6 a 20°C la absorción de fósforo se eleva con el aumento de temperatura; también encontraron que la temperatura óptima del pepino fué de 30°C.

Stamberg (51), encontró que a altas temperaturas (40-42°C) las plantas de pepino solamente produjeron flores masculinas.

3.— Luz

Muchos autores observaron que la rata de absorción de iones de la solución externa era proporcional a la cantidad de luz, (Miller, 41).

En 1934, Benedict, citado por Miller (41), encontró que los rayos ultravioleta entre 2.900 y 3.100 Å. causaron un incremento del calcio en las plantas.

Hewitt (32), y Freeland (25), dicen que las altas intensidades lumínicas reducen los requerimientos de potasio y acentúan las deficiencias de nitrógeno a más bajas temperaturas. Añaden que los días largos acentúan las deficiencias de boro, zinc y manganeso.

4.— Concentración de iones hidrógeno

La concentración de iones de hidrógeno se expresa como el logaritmo de esa concentración en moles la cual a su vez se denomina pH.

El valor del pH del medio afecta la absorción de sales en varias formas. Según Miller (41), hay una amplia discrepancia al respecto entre los investigadores.

Broagerle y McGeorge reportaron que las plantas no son capaces de absorber iones fosfatos y nitratos de soluciones con pH superior a 7,5; y que el pH óptimo está cerca de la neutralidad, (Miller, 41; Saubny, 47).

Arnon et. al (7), concluyen que el efecto deletéreo de los valores de pH en el crecimiento de algunas plantas en medios alcalinos puede ser atribuido a su inhabilidad para absorber suficientes fosfatos bajo esas condiciones.

Sutcliffe (52), explica lo anterior al sostener que la forma iónica de fosfatos cambia de monovalentes (H_2PO_4^-) a bivalente ($\text{HPO}_4^{=}$) y finalmente a trivalente ($\text{PO}_4^{=-}$) a medida que el medio se vuelve más alcalino y que de acuerdo a trabajos realizados por Van den Honert, la forma más ampliamente asimilable es la monovalente.

Altas concentraciones de hidrogeniones causan una disminución en la absorción de cationes como resultado de la competencia de iones cargados similarmente, (Sutcliffe, 52).

Varios autores (32, 41, 47, 48, 49), sostienen que a pH alto la precipitación del hierro es considerable; otros nutrientes especialmente calcio y fósforo pueden llegar a ser inaprovechables y en algunos casos también el Mn.

Finalmente, Hewitt (32), dice que la influencia del pH parece ser relativamente de poca importancia entre 4,5 y 7,5 con tal de que el hierro permanezca aprovechable.

5.— Concentración del medio externo

Las concentraciones elevadas de cualquier sal, incluso las de los elementos nutritivos, son perjudiciales para el desarrollo del cultivo, (Bonner, 10; Millar, 39, Miller, 41).

Sach y Knop encontraron que la concentración óptima era de 0,3% (Dunn, 20), Hoagland (33), encontró que la concentración óptima era de 0,25 a 0,48 atmósferas.

Bonner (10), sostiene que concentraciones superiores al 2% son deletéreas para casi todas las plantas.

Millar (39), dice que la absorción es más rápida cuando la concentración dentro de la raíz es baja. Así se ha demostrado por muchos investigadores que al aumentar la concentración de un ión hasta cierto límite aumentará correspondientemente la absorción de dicho ión, (Curtis, 17).

6.— Interacción entre iones

Los iones constituyentes de una sal no son absorbidos necesariamente en cantidades equivalentes por los tejidos de las plantas o raíces, (Miller, 41).

La absorción de un ión determinado puede variar considerablemente con la concentración y naturaleza de los iones presentes, (Millar, 39; Broyer, 13). Broyer (13), sostiene que un ión monovalente se acumula más rápidamente que uno divalente, y Sutcliffe (52), explica este fenómeno aduciendo que los iones monovalentes son menos hidratados que los divalentes.

Broyer (13), agrega que la rata de absorción de unión en particular, esta influido marcadamente por la naturaleza del ión acompañante; cita el ejemplo de que el Br— emigra más rápidamente a las raíces cuando se suministra con potasio que con calcio.

Cuando dos o más especies iónicas con el mismo signo eléctrico están presentes en el medio externo, se pueden observar efectos antagónicos o sinérgicos, (Jennings, 35).

Curtis (17), aclara lo anterior cuando dice que la absorción de Cl— es reducida por la presencia de Br— ó I— pero no es afectado y aún estimulado en presencia de nitratos y fosfatos.

El efecto de aniones como nitratos, fosfatos y también sulfatos en la estimulación de la absorción de otros iones es debida probablemente al mejoramiento del metabolismo (Sutcliffe, 52).

Lyclama (37), encontró por otra parte, que la absorción de nitratos es inhibida por la toma de NH_4^+ .

De los cationes, el potasio es el más rápidamente absorbible y el calcio es el menos rápido; de los aniones el NO_3^- es el más rápido y abundantemente absorbido mientras el SO_4^- parece ser el más lentamente absorbido, (Miller, 41).

La absorción desigual de iones puede traer cambios en el pH del medio externo, (Curtis, 17).

Bonner (10), afirma que todo exceso de absorción catiónica deberá estar acompañada de los cambios necesarios en la composición iónica del medio exterior y del jugo celular para mantener ambos medios eléctricamente neutros.

Jennings (35), por ejemplo, encontró en levaduras que el potasio es tomado en intercambio por iones hidrógeno derivado de las reacciones metabólicas.

En soluciones nutritivas con bajo contenido de potasio, mayor cantidad de iones Ca, Mg y fósforos fueron absorbidos que cuando el K+ fué alto, (Miller, 40). Miller (41), anota que altos contenidos de Ca inhibieron la absorción de nitrato en trigo.

Los cationes alcalinos compiten unos con otros en mayor o menor grado en la absorción, y la toma de uno es generalmente reducida cuando se aumenta la concentración del otro, Osawa, 43; Sutcliffe, 52).

Agrega Sutcliffe (52), que esta competencia no es recíproca, pues la absorción del potasio no es inhibida tan fuertemente por la presencia de sodio, como lo es la de éste por el potasio.

7.— Limitaciones hereditarias

Ferry (26) y Broyer (13), sostienen que la concentración de minerales en las plantas no está controlada solamente por las condiciones internas ó externas, sino también es una función de las potencialidades hereditarias de las plantas.

Estas potencialidades limitan y determinan las condiciones físico-químicas y la extensión de los procesos internos que pueden ocurrir (Broyer, 13).

Collander demostró una diferencia genética en la capacidad de las plantas para absorber nutrimentos, (Millar, 39).

Requerimientos nutricionales y climáticos del pepino.

Son muy pocos y vagos los datos encontrados en la revisión bibliográfica sobre los requerimientos nutricionales del pepino.

Se dice que la extracción de nutrimentos del suelo por una cosecha de treinta toneladas por hectárea es de 50 kgrs. de nitrógeno, 40 de P_2O_5 y 80 de K_2O , (Anónimo, 5).

Friedrich y Schmidt (28), en estudios sobre la toma de nutrimentos de 30 plantas de pepino en una solución nutritiva durante 80 días observaron la siguiente absorción: 29,9 grs. de Mg, 49,9 grs. de P, 94,9 de Ca, 285,9 grs. de K y 231 grs. de N para las síntesis de proteínas, y 133,4 grs. de N para los compuestos no proteicos; para la formación de frutos consumieron 30 grs. de Ca, 18 de Mg, 35 de P, 137 de K y 115 de N.

Yamasaki (57), dice que los requerimientos de nutrimentos del pepino para una producción de 8 toneladas por 1000 metros cuadrados es de 24 kgs. de N, 8 kgrs. de P_2O_5 , 40 kgrs. de K_2O , 32 kgrs. de CaO, 6 kgrs. de MgO y 2 de S.

Friedrich y Schmidt (28), agrega que la fructificación se caracterizó por un repentino aumento por los requerimientos de nutrimentos los cuales aumentaron posteriormente durante la fase de desarrollo del fruto.

García Romero, (29), dice que las plantas de pepino no soportan bajas temperaturas, pero tampoco necesitan elevadas temperaturas; agrega el mismo autor que los lugares donde se cultive deben estar resguardados del viento.

Stramberra (51), observó que a altas temperaturas (40 — 42°C) las plantas de pepino solamente produjeron flores masculinas.

Edel, stejn (21), encontró también que las distancias de siembra muy cortas (10 x 10 cms.) afectaron el porcentaje de flores femeninas.

Para obtener una mayor producción, Brenna (11), aconseja el trasplante de pepino.

Cultivo hidropónico en gravilla

Los últimos trabajos realizados por los investigadores, concuerdan en que este sistema es el más adecuado y fácil de operar en explotaciones comerciales.

Este sistema fué propuesto por R. B. Withrow de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Purdue en 1946; al mismo tiempo R. B. Farham de la Estación Experimental de New Jersey desarrolló el mismo método independientemente, (Ellis, 22; Turner, 56).

El cultivo en gravilla emplea como sustrato o medio de soporte para las raíces un material relativamente grueso el cual es inundado con una solución nutritiva por subirrigación, (Chouard, 15).

El suministro de la solución nutritiva por subirrigación se realiza utilizando una bomba que hace subir la solución desde un depósito situado inferiormente, de manera que entre por la parte más baja del recipiente que contiene la gravilla hasta llegar casi a la superficie del sustrato; en un momento dado cesa de actuar la bomba con lo cual el líquido regresa de nuevo al depósito por el efecto de la gravedad, (10, 15, 22, 34, 47).

Este ciclo puede repetirse varias veces al día consiguiéndose que la planta esté continuamente abastecida de caldo nutritivo, (10, 34, 56).

Quando la solución es bombeada por su base dentro del recipiente que contiene el sustrato, el aire "viejo" en el medio es desalojado; después, cuando cesa de funcionar la bomba, el aire "fresco" es aspirado por el medio a medida que la solución regresa al depósito, (Ellis, 22; Yamasaki, 57).

Bonner (10), dice que uno de los motivos de éxito de este sistema es el de asegurar la aireación del sistema radicular. Y. Tumanov (55), agrega que este sistema proporciona el mejor medio de anclaje para las plantas.

Según Curth (18), este sistema ofrece las mayores posibilidades de automatización de casi todas las labores reduciendo grandemente la mano de obra. Por ejemplo, con un interruptor de tiempo la bomba puede hacerse funcionar a la hora deseada y durante el tiempo necesario para inundar la gravilla, (10, 23, 56).

Los investigadores más recientes que recomiendan este sistema como el más adecuado para explotaciones comerciales son, entre otros, Favilli (23), Favilli (24), Geissler (30) y Rodnikov (46).

Entre las instalaciones más recientes para la producción a gran escala, se encuentra la de Yugoslavia, diseñada por Favilli (23).

Sin embargo, se considera que la mayor instalación en funcionamiento es la recientemente construida en Cuba; su extensión es aproximadamente de $\frac{1}{2}$ caballería (1 caballería es equivalente a 13.43 Ha.).

Yamasaki (57), encontró que mientras en este sistema se necesitaban 44 jornales en el sistema corriente se empleaban 110 para obtener una cosecha de pepino en 200 m²; dedujo además que el costo de dos cosechas por el método hidropónico es un 25% menor que el costo para obtenerlas en tierra.

Muras, (42), obtuvo las más altas producciones de pepinos (26-36 kgrs/m²) mediante este sistema.

Equipo y funcionamiento

1.— Recipiente del sustrato, lecho ó cajonera

Los materiales más utilizados para la construcción del lecho son: concreto, láminas metálicas y madera, (Chouard, 15).

Sea cual fuere el material de construcción, debe reunir el requisito de ser impermeable, (Ellis, 22; Turner, 56). Huterwal (34), recomienda impermeabilizar el interior con el fin de evitar pérdidas de solución y reacciones con los elementos de la solución.

Ellis (22), Huterwal (30) y Hewit (32), recomiendan usar pintura de asfalto para impermeabilizar y en ningún momento usar el alquitrán de hulla por presentar peligro de toxicidad.

El tamaño de las cajoneras es variable de acuerdo con las necesidades particulares, (Chouard, 15).

Ellis (22), dice que generalmente la máxima longitud es de 100 pies; el ancho de 30 a 60 pulgadas es práctico de acuerdo a la clase de cosecha y el largo de la cajonera.

La profundidad de la cajonera no debe ser menor de 20 cms. pero no mayor de 30 cms., (34, 49, 56).

Para unidades comerciales, Duclos (19) recomienda usar cajo-

neras de 20 a 25 metros de largo por 1,20 a 1,50 metros de ancho y 25 cms. de profundidad.

Favilli (24), utilizó un tanque de 10 x 50 metros y 45 cms. de profundidad y el piso con un desnivel hacia el centro para el drenaje de la solución.

Ellis (22), recomienda un desnivel de 1 a 2 pulgadas por cada 10 pies en el fondo de la cajonera (0,83 — 1,7%) para asegurar un buen drenaje.

Para efectuar una subirrigación uniforme es necesario colocar un dispositivo en forma de "V" ó de "U" invertido que va por el centro del piso y a todo lo largo de la cajonera, (Ellis, 22).

Otro sistema es hacer un canal longitudinal central que se cubre con ladrillos o losa de hormigón dejando agujeros laterales que se cubren con gravilla gruesa para facilitar el drenaje, (Anónimo, 3).

2.—Materiales de sostén

Ellis (22), Huterwal (34) y Bonner (10), dicen que la función de la gravilla es dar sostén y aireación a las raíces y evitar la penetración de la luz.

Turner (56), encontró que el diámetro de la gravilla debe estar entre 6 y 10 mm. Sholto (49), aconseja que debe ser de 3/8" y 1/2". Ellis (22), aconseja entre 1/8" y 3/8" y además recomienda que el 50% este entre 1/8" y 3/4" y la otra mitad entre 3/4" y 3/8".

Yamasaki (57), considera que la gravilla común de río es adecuada y al mismo tiempo barata. Huterwal (34), dice que el sustrato debe ser inerte y consistente y como tal pueden usarse cantos rodados, carbonilla, grava, granito, etc. Richtus (44), aconseja usar piedra pómez.

Para remover los elementos que pueda liberar, es aconsejable tratar a la gravilla antes de ser usada, (Yamasaki, 57). Ellis (22), aconseja dejar la gravilla en agua por 18-24 horas y después lavar con más agua aconseja también dejarla por 12 horas en una solución del 5% de H₂SO₄ y después de lavar el exceso con agua.

Yamasaki (57), dice que cuando la gravilla contiene mucho Na+ y MG++ es aconsejable aplicar 300 grs. de CaSO₄.2H₂O por cada metro cúbico de gravilla.

Kim (36), recomienda usar ácido sulfúrico débil cuando se usa un medio carbonáceo, para remover las sustancias tóxicas.

3.— Recipiente de la solución

Ellis (22), sugiere recipientes 1,5 a 2,0 veces mayor que el volumen necesario para irrigar el medio; esto es, 1,5 a 2 veces el 50% del volumen de la cajonera.

Recipientes relativamente grandes proveen un exceso de solución el cual reduce el control operacional y ayuda a mantener una mejor estabilidad del nivel de los nutrimentos, (Chouard, 15; Ellis, 22).

Según Turner (56), el recipiente debe ser 1/3 del volumen de la cajonera a servir.

Yamasaki (57) y Ticquet (53), recomiendan usar concreto ó canecas de hierro de una lámina de 2-3 mm. para la construcción de los recipientes cuando éstos están bajo la superficie.

Soluciones nutritivas

1.— Preparación de las soluciones nutritivas

.. Para los cultivos hidropónicos la provisión de los elementos nutritivos debe hacerse con el fin de dar una adecuada nutrición, usando soluciones nutritivas bases, ejerciendo un control del pH, proporcionando una aireación adecuada y buen drenaje, (Allinson, 1; Anónimo, 4).

En la solución, los elementos esenciales deben estar en la concentración suficiente y en formas asequibles para las plantas, Chouard, 15; Shive, 48)

Ellis (22) y Shive (48), aconsejan preparar la solución nutritiva en dos pasos generales: a) adición de los macroelementos; b) adición de los microelementos.

Hay varios métodos para la preparación de la solución nutritiva; la elección de un método en particular depende de las condiciones específicas de la instalación y de los deseos personales del operador, (Ellis, 22).

Turner (56), considera que el método más adecuado es la preparación de soluciones concentradas, para diluirlas a medida que se vaya a emplear.

Saunby (47), critica el método de Turner (56) por existir el peligro de una pérdida de elementos por precipitación antes de la dilución final.

Ellis (22), considera que uno de los métodos más usados es la elaboración de soluciones madres concentradas (0,5M) con excepción de las soluciones de las sales de fosfato mono cálcico y sulfato de calcio que tienen una solubilidad relativamente baja y se deben usar des equivalentes de cada una de las soluciones madres de manera que en una concentración 0,1M. Posteriormente se agregan las cantidades equivalentes de cada una de las soluciones madres de manera que al llevar la solución nutritiva al volumen final los elementos queden en las concentraciones indicadas por la fórmula.

Otro método anotado por Ellis (22), es agregar las sales ya previamente pesadas y por separado al agua del recipiente.

También se puede preparar una mezcla de las sales en seco y agregar la cantidad adecuada de esta mezcla al recipiente; sin embargo, éste método está limitado a la higroscopicidad de las sales empleadas, (Ellis, 22).

Cuando se usan sales químicas puras, Shive (48), aconseja agregar los elementos menores en las siguientes formas $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , MnSO_4 , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

La adición de los elementos menores puede hacerse por medio de soluciones madres de cada sal en concentraciones mucho menores, (Ellis, 22; Shive, 48; Turner, 56).

En la preparación de la solución madre de sulfato ferroso debe tenerse en cuenta que éste es fácilmente oxidado en soluciones no ácidas por lo cual es necesario agregar ácido antes de prepararla, (Ellis, 22).

De acuerdo con Stiles (50), otro aspecto referente al hierro que ha recibido mucha atención últimamente es la relación Fe/Mn; según Shive, citado por el mismo autor, para un crecimiento sano es necesario que la relación esté entre los límites 1,5 a 2,5.

2.— Ajuste del pH de la solución

De acuerdo a lo establecido anteriormente en lo referente a la influencia de la concentración de hidrogeniones en el desarrollo de las plantas, se aconseja que el pH debe ajustarse de manera que no se salga del intervalo 4,5 a 7,5.

Huterwal (34), aconseja bajar el pH agregando gotas de ácido sulfúrico, fosfórico, nítrico ó cítrico, para elevar el pH, Ellis (22), recomienda agregar una porción de una solución de KOH ó NaOH.

Hewit (32), por su parte, recomienda ajustar adecuadamente la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$.

Huterwal (34) y Ferry (26), afirman que a pH altos el hierro se precipita en formas de fosfatos. Pero Ferry (26) agrega que esta precipitación ha sido obviada recientemente por medio de un complejo orgánico que libera lentamente el hierro.

Ellis (22), dice que diversas sales orgánicas como el citrato férrico, tartrato ferroso son aprovechables por las plantas bajo condiciones ligeramente alcalinas.

Trelease y Trelease citados por Hewit (32), usaron una mezcla de sulfato ferroso y citrato de potasio como un medio para mantener un suministro de Fe aprovechable.

Tsujimura (54), encontró que el "chelato" de EDTA (ácido etilenediaminatetracético) de hierro es adecuado para fuente de hierro para cultivos hidropónicos.

Brown (12), afirma que cuando la concentración molar del "chelato" es superior a la del hierro, se inhibió el crecimiento de varias especies vegetales ensayadas.

Majumber (38), encontró que el fosfato de etil amónico resultó ser una buena fuente de fósforo a pH alto previniendo la precipitación.

La determinación del pH debe hacerse tan a menudo como sea necesario; se considera que la variación del pH permanece constante por períodos de 1 a 2 semanas, (15, 22, 34, 56).

3.— Frecuencia de la aplicación de la solución

Según Ellis (22), el establecimiento del ciclo del bombeo de la solución depende principalmente de dos factores: proveer una humedad adecuada y elementos nutritivos.

También se debe tener en cuenta el sustrato, la solución empleada, la planta en cultivo y las condiciones climáticas, (Chouard, 15; Ellos, 22).

En cuanto al número de los bombeos diarios, existen discrepancias entre los distintos autores. Huterwal (34), recomienda de 3 a 4 riegos diarios seguidos inmediatamente de un drenaje de la solución. Chouard (15) y Ellis (22), recomiendan de 2 a 4 riegos diarios.

Sin embargo, Ellis (22), dice que lo correcto es determinar la frecuencia de acuerdo al estado de las plantas; agrega además, que el proceso de riego y drenaje de las cajoneras debe ocurrir entre 10 y 15 minutos.

En el riego se debe tener la precaución de que la solución llegue hasta una pulgada de la superficie de la gravilla, para evitar la proliferación de algas y hongos, pudiendo ser estos últimos patógenos para las plantas, (Saunby, 47).

4.— Cambios de la solución nutritiva

En el curso del cultivo deben ser compensados las pérdidas de agua por evaporación y utilización natural, agregando para ello la cantidad necesaria con el fin de restablecer el volumen inicial, (Huterwal, 34; Saunby, 47; Turner, 56).

Para reemplazar los elementos consumidos por las plantas, debe aportarse cada semana la mitad de la dosis inicial y cada mes cambiar totalmente la solución, (15, 31, 34).

Huterwal (34), considera que cambios más frecuentes son anti-económicos e innecesarios.

III.— MATERIALES Y METODOS

Para el presente trabajo se eligió el sistema hidropónico en gra-

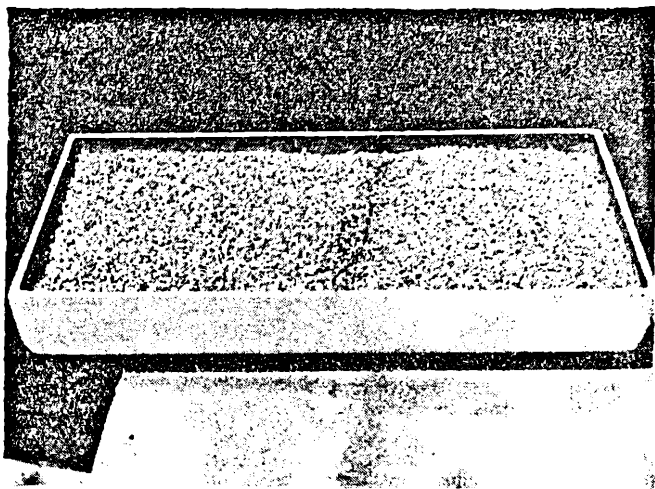


FIGURA 1.—Jardinería de Eternit con el volumen adecuado de gravilla.

(Foto: J. M. Córdoba).

villa con subirrigación por ser considerado actualmente uno de los más apropiados y adaptables en explotaciones a escala comercial.

Debido a falta de información acerca de una variedad de pepino apropiada para cultivar en este sistema, se escogió la Early Fortune, una de las más difundidas en la región del país en que se realizó el estudio.

El semillero se hizo en un recipiente de madera al cual se agregó tierra mezclada en igual proporción con arena sobre una cama de gravilla y cascajo, con el propósito de lograr un medio adecuado para germinación de la semilla, controlando los patógenos.

Las plántulas se transplantaron en las jardineras que sirvieron de cajoneras previamente llenadas con gravilla común del río, (Véase Figura 1).

Las jardineras usadas poseían las siguientes características: 35 cms. de ancho, 72 cms. de largo y 18 cms. de profundidad máxima. El área transversal era semicircular, como puede observarse en la Figura 2. En el fondo y a lo largo de la jardinera se dispuso un ángulo invertido de maderas de manera que permitiera un perfecto riego subterráneo y que el material gravilloso no obstruyera el orificio de drenaje. Obsérvese la Figura 3.

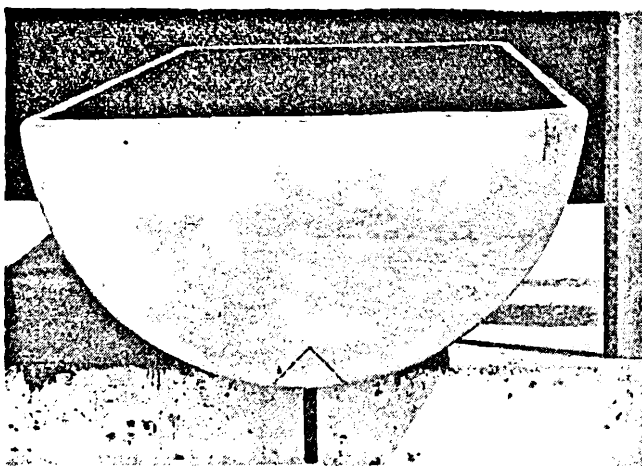


FIGURA 2.— Area transversal de las jardineras usadas en el experimento. Obsérvese en la base, el tubo de drenaje. Los trazos negros punteados indican la posición del ángulo de madera.
(Foto: J. M. Córdoba).

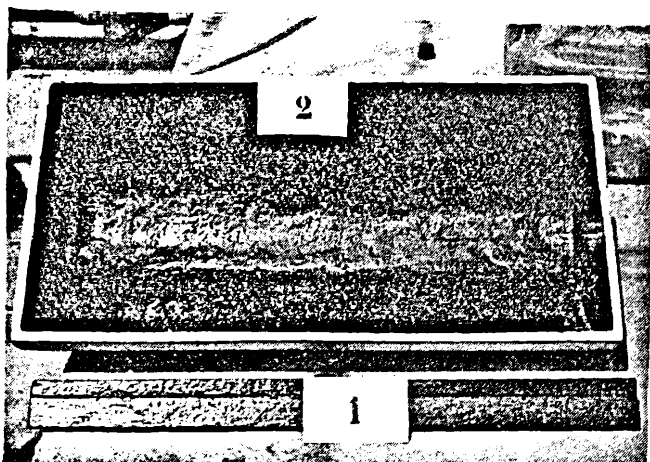


FIGURA 3.— Angulo de madera (1) y superficie interna de la jardinera (2) pintados con esmalte asfáltico de petróleo.
(Foto: J. M. Córdoba).

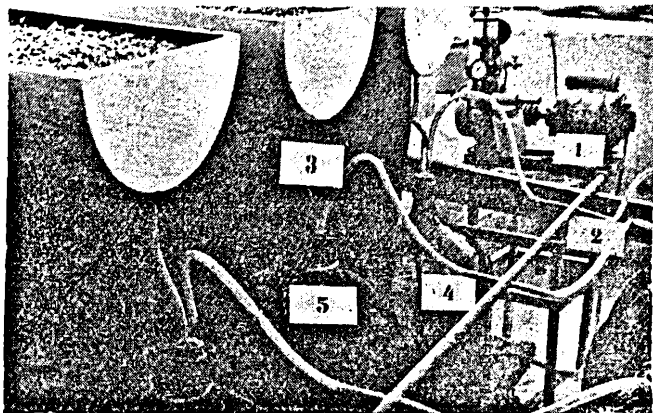


FIGURA 4.— Aspecto general del sistema de aire a presión que impulsó la solución nutritiva ensayada a las diferentes jardineras. Obsérvese la bomba de aire a presión (1); tubo múltiple de aire a presión (2); tubo de drenaje y de riego (3) recipiente de la solución nutritiva (4); y recipiente de la solución cubierto con tela negra (5).

(Foto: J. M. Córdoba).

Las superficies internas de las jardineras y el ángulo de madera se pintaron con esmalte asfáltico para prevenir cualquier reacción de la solución con el material de construcción de aquellos.

Se usaron como recipientes de la solución botellones de vidrio de 20 litros de capacidad los cuales se cubrieron con tela negra para impedir el desarrollo de algas en la solución. Véase Figura 4.

Para subir la solución a cada una de las cajoneras ó jardineras, se inyectó aire a presión (10 libras por pulgada cuadrada) a cada uno de los botellones por medio de una bomba a presión. Véase Figura 4. Después de efectuado el riego (durante 7 minutos aproximadamente), se abrió la llave de escape y se apagó la bomba para efectuar el drenaje de la solución la cual regresó a los recipientes de vidrio originales por la sola acción de la gravedad.

Se efectuaron cinco riegos diarios en la forma antes descrita con el siguiente horario: 8 a.m., 10 a.m., 12 m., 2 p.m. y 5 p.m.

Cada una de las seis soluciones nutritivas probadas en este trabajo constituyeron un tratamiento. Ellas recibieron su nombre de acuerdo con la institución en la cual fueron creadas ó donde se utilizan actualmente.

Nombre de la Solución	Símbolo	Lugar	Nombre de la Institución
Lago	L	Aruba	Lago Oil and Transport Co.
Shell	S	Curacao	Shell Oil Company
Ohio	O	Ohio	Ohio Agric. Exp. Sta.
Purdue	P	Purdue	Purdue Agric. Exp. Sta.
California	C	California	Calif. Agric. Exp. Sta.
New Jersey	J	New Jersey	N. Jersey Agric. Exp. Sta.

Las fórmulas de las soluciones empleadas en este trabajo se encuentran descritas en la Tabla I. Para su preparación se usaron soluciones madres 0, 1M de las sales usadas como fuente de los elementos mayores (las sales empleadas en la preparación de las soluciones nutritivas fueron de grado R.A.), véase Tabla II. La fórmula de la solución para los elementos menores fué la misma para los seis tratamientos, véase Tabla III. Para la preparación de las soluciones madres de los microelementos se usaron concentraciones más diluidas, véase Tabla IV.

Las cantidades de cada una de las soluciones madres para elementos mayores, usadas en la preparación de las distintas soluciones nutritivas probadas en este trabajo, se especifican en la Tabla V. Seguidamente se completó a un volumen de 11 litros con agua de acueducto público. De cada una de las soluciones madres de elementos menores se agregaron 10 mililitros.

A las soluciones nutritivas se les agregó, semanalmente, la mitad de la dosis anotada en la Tabla V, pero diariamente se llevaron al volumen original (11 litros) para reponer el agua perdida por evapotranspiración. Al final de cada tres semanas se cambiaba totalmente la solución.

— T A B L A I —

Fórmulas de las soluciones nutritivas empleadas en este trabajo, expresadas en milmoles/litro

Productos Químicos puros	Lago	Shell	Ohio	Purdue	California	New Jersey
M ^o SO ₄ · 7H ₂ O	3.0	2.0	2.2	1.0	2.0	2.3
CaH ₂ (PO ₄) ₂	1.5	2.0	1.4	0.5		
KNO ₃	7.0	7.0	6.9	5.0	6.0	
CaSO ₄ · 2H ₂ O	7.5	7.0	7.5	4.0		
(NH ₄) ₂ SO ₄			0.9	1.0		0.7
KCl				5.0		
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O					4.0	4.5
KH ₂ PO ₄						2.3
NH ₄ H ₂ PO ₄					1.0	

— T A B L A II —

Cantidades de sal usada en la preparación de las Soluciones Madres de Elementos Mayores en una concentración 0,1M

Sal	Grs. lit. sol.	Número lit. sol.	Grs.
MgSO ₄ ·7H ₂ O	24,650	5,0	123,250
CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O	25,209	3,0	75,627
KNO ₃	10,110	15,0	151,650
CaSO ₄ ·2H ₂ O	17,217	12,0	206,604
(NH ₄) ₂ SO ₄	13,214	2,0	26,428
KCl	7,455	3,0	22,365
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	23,616	4,0	94,464
KH ₂ PO ₄	13,610	2,0	27,220
NH ₄ H ₂ PO ₄	11,503	0,5	5,751

— T A B L A III —

Fórmula patrón de la solución de los elementos menores

Sal	Concentración p. p. m.
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0,5
MnSO ₄ ·H ₂ O	0,25
H ₃ BO ₃	0,25
CuSO ₄	0,025
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,025

— T A B L A IV —

Cantidades de sales usadas en la preparación de las Soluciones Madre de Elementos Menores

Sal	Concentraciones Soluciones Madres p. p. m.	Grs./litro Soluc.
FeSO ₄ ·7H ₂ O	500	2,4885
MnSO ₄ ·H ₂ O	250	0,7687
H ₃ BO ₃	250	1,7985
CuSO ₄	25	0,6277
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	25	0,1099

— T A B L A V —

Volumen en mililitros de las diferentes soluciones madres de los elementos mayores, requeridos para las distintas Soluciones nutritivas

Soluciones Madres 0,1M	Lago	Shell	Ohio	Purdue	California	New Jersey
MgSO ₄	30	20	22	10	20	23
CaH ₂ (PO ₄) ₂	15	20	14	5		
KNO ₃	70	70	69	50	60	
CaSO ₄	75	70	75	40		
NH ₄ (2SC ₄)			9	10		7
KCl				50		
Ca(NO ₃) ₂					40	45
KH ₂ PO ₄						23
NH ₄ H ₂ PO ₄					10	

Los pH se determinaron y ajustaron cada 2 días ya que generalmente, tendieron a bajar. Las lecturas se hicieron en un potenciómetro Beckman y el ajuste se realizó adicionando porciones de una solución 0,1N de KOH. La oscilación de la reacción permitida en las soluciones fué de 5,5 a 6,5.

Las semillas se sembraron el cinco de mayo y se transplantaron a las jardineras nueve días después. La densidad de siembra en las jardineras fué de 24 plantas por metro cuadrado. Trece días después se colocaron los tutores de cabuya en la forma como lo demuestra la Figura 5.

El crecimiento vertical de las plantas se limitó hasta una altura de 2,20 metros o sea la longitud de los tutores; a medida que las plantas alcanzaban esta altura se procedía a "descogollarlas" ó sea a clamarles al punto apical de crecimiento.

El diseño experimental empleado en este ensayo fué el de "bloques al azar" con cuatro replicaciones, constituyendo cada jardinera una parcela experimental. El total de parcelas sumó 24.

Las condiciones de invernadero trataron de regularse mediante un baño de agua al techo de vidrio del mismo. Debido a que las plantas utilizadas en este trabajo son de polinización predominantemente entomófila hubo la necesidad de descubrir la sección norte del invernadero para así facilitar la entrada de los insectos que realizarían más tarde la polinización.

Se hicieron dos aspersiones de insecticidas para el control de plagas, especialmente áfidos, los cuales se presentaron durante todo el desarrollo del cultivo aunque en forma leve. Los insecticidas empleados y su respectiva dosificación fué la siguiente: Dipterex (4 grs./litro) - Ekatin (1 ml./lit) a razón de dos litros para todas las parcelas.



FIGURA 5.— Aspecto general del sistema hidropónico y el tutoraje empleado.

(Foto: J. A. Díaz)

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 pueden observarse los diferentes estados de desarrollo del experimento y la distribución y emplazamiento de jardineras, múltiples de aire y recipientes de la solución.

IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

El cultivo hidropónico en general se caracterizó por un crecimiento rápido y vigoroso. La apariencia de las plantas en todas las parcelas experimentales mostraron un estado sanitario satisfactorio, excepto en el último estado de desarrollo cuando se presentó un síntoma general de ataque del hongo *Cercospora meloni* (1) debido quizás a las altas temperaturas registradas en el invernadero (Temp. media 27,3°C; máxima media 31,2°C; mínima media 23,3°C).

Las plantas de las parcelas correspondientes a los tratamientos Ohio, Lago y Shell, en este mismo orden, mostraron un crecimiento



FIGURA 6.— Disposición del tubo múltiple de aire a presión conectado a cada uno de los recipientes de las soluciones nutritivas. Nótese los recipientes cubiertos con tela negra para impedir el crecimiento de algas.

(Foto: J. A. Díaz)

más rápido con respecto a los demás tratamientos; sin embargo, durante el período de fructificación, presentaron un amarillamiento general.

Las plantas que llegaron primero a la altura del "descogolle" (2,20 metros), correspondieron al tratamiento Ohio, siguiéndole en su orden las de Lago y por último las de Shell. Ocho días después se "descogollaron" las plantas de los tratamientos restantes. Entre estas últimas las plantas de la solución Jersey fueron las que presentaron el crecimiento más retardado, hojas más pequeñas y menor ramificación; las de California y Purdue fueron aquellas que presentaron un color verde normal, hojas grandes y abundante ramificación.

(1) Identificación hecha por el Dr. César Escobar, Jefe de la Sección de Fitopatología de la Facultad de Agronomía de Palmira.

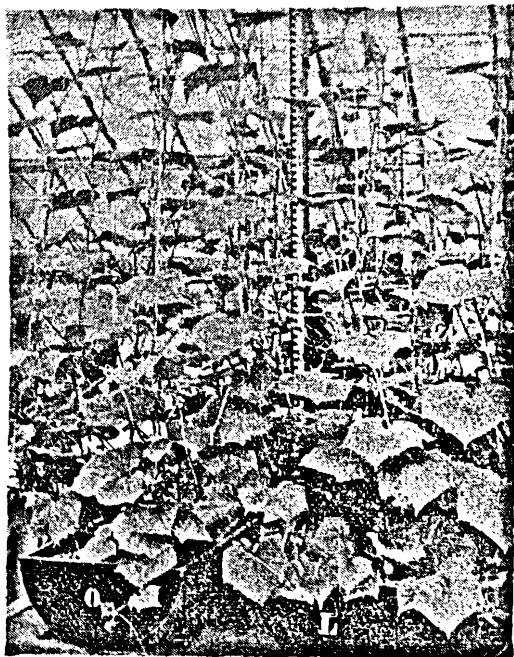


FIGURA 7.— Diferencia en desarrollo de las plantas que crecieron en las soluciones Ohio y Lago, durante la iniciación del periodo de floración.

(Foto: J. A. Díaz)

A los cincuenta días después del trasplante se hizo la primera cosecha que correspondió a las parcelas más precoces; posteriormente se realizaron cosechas periódicamente (cada 2 a 3 días) hasta cuando la fructificación se redujo marcadamente. La última cosecha se realizó en Agosto 6, 60 días después del trasplante.

Las soluciones California y Purdue produjeron 20,795 y 19,372 Kgr/m² respectivamente, no encontrándose diferencia significativa entre ellos pero sí con respecto a los demás tratamientos, a excepción de la Purdue que no presentó diferencia significativa con la Shell, para una probabilidad del 95%, (Véase Tablas VI, VII y VIII).

Las soluciones nutritivas probadas que mostraron un crecimiento más rápido de las plantas (Ohio, Lago y Shell), no fueron las que

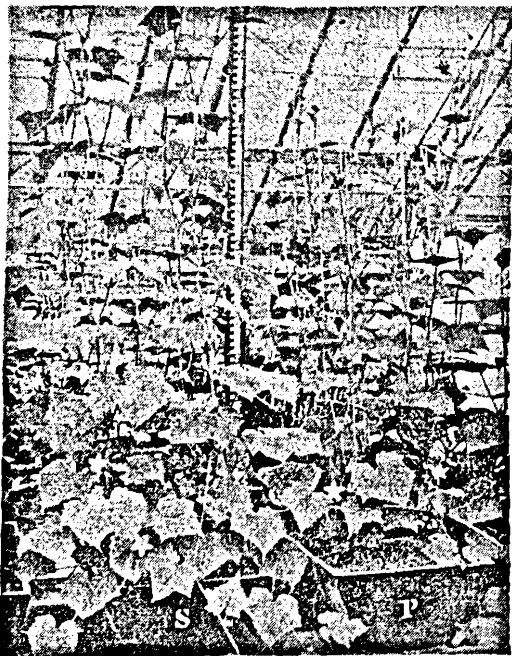


FIGURA 8.— Diferencia en desarrollo de las plantas que crecen en las soluciones Shell y Purdue. A pesar que las plantas de la Purdue presentan un menor desarrollo que las de la Shell, su producción fue mayor.

(Foto: J. A. Díaz)

dieron mayores producciones, pero aquellas que tuvieron un crecimiento más regular y presentaron mejor aspecto agronómico (California y Purdue), fueron las que dieron más altos rendimientos como puede observarse en la Tabla VI.

El crecimiento rápido de las plantas correspondientes a las parcelas de los tratamientos Ohio, Lago y Shell, coincidió, de acuerdo con la Tabla IX, a una mayor proporción del elemento Calcio con respecto a las demás soluciones. Teniendo en cuenta los datos aportados por Friedrich y Schmidt (28), es de suque este fenómeno pudo deberse a un desequilibrio de la relación Ca:N. En las soluciones Ohio, Lago y Shell se encontraron relaciones aproximadas de 1:1; en cambio Friedrich y Schmidt (28), encontraron más apropiada la relación 1:3. Por lo tanto se puede deducir la posibilidad de que es-

ta baja relación de Ca:N puede fomentar un crecimiento rápido de las plantas, que al aumentar los requerimientos del nitrógeno en el período de fructificación y de desarrollo del fruto, como lo anota Friedrich y Schmidt (28), puede presentarse una deficiencia por este elemento.

La solución Jersey que presentó un bajo rendimiento, es también la que posee la menor concentración de potasio (90 ppm.); la California y la Purdue presentaron 234 y 390 ppm. de potasio respectivamente. Aunque la solución Lago presentó una alta concentración de potasio (273 ppm.), posiblemente su alto contenido en calcio, tal como lo anota Miller (41), pudo impedir la utilización de aquel elemento.

Es necesario anotar también, que las soluciones Ohio, Lago y Shell presentaron una mayor concentración, con respecto a las demás soluciones, de fósforo y sulfatos.

Es interesante anotar que los rendimientos por este sistema hidropónico siempre fueron superiores en todos los tratamientos al ob-

— T A B L A VI —

Rendimiento de los tratamientos por replicaciones, Mgr./m²

Tratamientos	Replicaciones				PROMEDIO
	I	II	III	IV	
California	19,70	20,69	19,84	22,95	20,795
Purdue	18,68	18,56	21,36	18,89	19,372
Shell	17,15	16,40	17,12	18,98	17,412
Ohio	17,46	13,34	17,53	17,40	16,432
Jersey	17,33	14,24	15,37	14,97	15,477
Lago	14,49	14,00	16,97	14,26	14,930

— T A B L A VII —

Análisis de varianza

Fuentes de variación	G. L.	S. C.	C. M.
Replicaciones	3	12,54	4,18
Tratamientos	5	104,61	20,922 x x
Error	15	26,836	1,789
Total	23	143,986	

$$F_c = \frac{\text{C.M. de Tratamientos}}{\text{C. M. de Error}} = 11,694$$

$$F_t = \frac{\text{C. M. de Error}}{\text{C. M. de Error}} = 2,90$$

$$F_t = \frac{\text{C. M. de Error}}{\text{C. M. de Error}} = 4,56$$

— T A B L A VIII —

Diferencia significativas para probabilidades del 99 y 95%

	Lago	Jersey	Ohio	Shell	Purdue
	-14,930	-15,477	-16,432	-17,412	-19,372
California	20,795	5,865(**)	4,363(**)	3,383(**)	1,423
Purdue	19,372	4,442(**)	2,940(**)	1,960	
Shell	17,412	2,48 (*)	0,980		
Ohio	16,432	1,502			
Jersey	15,477	0,547			
Lago	14,930				

(*) M.D.S. 0,05 : 2,13 x 0,9457 = 2,014

(**) M.D.S. 0,01 : 2,95 x 0,9457 = 2,789

— T A B L A IX —

Concentración de las Soluciones nutritivas expresadas en ppm de los iones nutritivos

Solución Nutritiva	Nitratos ppm.	Fósforo ppm.	Sulfato ppm.	Cloruro Potasio		Magnesio Calcio		Amonio ppm.
				ppm.	ppm.	ppm.	ppm.	
Lago	434	93	1008	0	273	72	360	0
Shell	434	124	864	0	273	48	360	0
Ohio	428	87	1018	0	269	53	356	32
Purdue	310	31	576	178	390	24	180	36
California	868	31	192	0	234	48	160	18
Jersey	558	71	268	0	90	55	180	25

tenido en cultivos en el suelo (3 kgrs/m²). Iguales anotaciones hacen Zapata y Avella (58), sobre los rendimientos obtenidos por este sistema en el cultivo del tomate.

El ajuste del pH de las soluciones fué una de las labores más difíciles de realizar, debido al aumento constante de la acidez en todas las soluciones. Es posible que este cambio rápido en pH sea causado por la calidad del agua utilizada en este trabajo, pues su contenido en cloro y otros elementos es elevada por ser agua de acueducto público.

V.— CONCLUSIONES

De acuerdo a las observaciones llevadas a cabo y del análisis estadístico de los resultados de producción obtenidos para los diferentes tratamientos, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1.— Las soluciones nutritivas denominadas California y Purdue presentaron rendimientos estadísticamente significativos para una probabilidad del 99% con relación a los demás tratamientos. Los rendimientos obtenidos para estos dos tratamientos fueron de 20,795 kgr/m² para la solución California y 19,372 para la Purdue.

2.— Las soluciones que tuvieron la más alta producción presentaron una relación Ca:N de 1:3 ó mayor, la cual parece ser un factor benéfico en la producción de este cultivo en particular. Relaciones más estrechas parecen producir deficiencias de nitrógeno durante los periodos de floración y fructificación y parecen limitar también, la observación de potasio.

3.— Bajas concentraciones de potasio (90 ppm. en la solución Jersey) parecen ser también limitantes en la producción de esta especie estudiada.

4.— La solución Lago proporcionó una producción 4,97 veces superior a la producción en tierra y la California proporcionó un aumento de 6,93 veces la producción en tierra.

5.— Cuando se utiliza agua de acueducto público, el pH de las soluciones debe determinarse al menos cada dos días.

6.— Es necesario realizar nuevas investigaciones para asegurar el éxito en explotaciones de tipo comercial. Los estudios inmediatos a realizar pueden ser: la comparación de variedades que más se adapten a este sistema, soluciones amortiguadoras (buffers) para ajustar el pH de las soluciones nutritivas, y estudios por medios científicos más exactos sobre la concentración de los elementos nutritivos más apropiados a nuestro medio ambiente.

VI.— RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fué determinar la respuesta del

pepino (*Cucumis sativus* L.) a seis soluciones nutritivas, por el método de la subirrigación utilizando gravilla de río como sustrato, con miras de allegar datos para posteriores investigaciones y empleo de este sistema a escala comercial.

Se hizo una recopilación de datos sobre las técnicas utilizadas en este sistema particular, y a lo anterior se agregó una serie de fundamentos de fisiología vegetal sobre nutrición mineral.

Las soluciones denominadas California y Purdue presentaron rendimientos estadísticamente significativos para una probabilidad del 99% con respecto a los demás tratamientos, con una producción de 20,795 y 19,372 kgr/m² respectivamente. Para una probabilidad del 95%, la solución Shell presentó respuesta significativa con una producción de 17,41. La producción más baja la registró la solución Lago) (14,930).

SUMMARY

The purpose of the present work was to determine the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to six nutritive solutions, by the subirrigation method utilizing gravel as supporting material, in order to gather data for subsequent investigation and employment of this system for commercial production.

A compilation of data was made on the technique used in this particular system, including a series of reviews on plant physiology for mineral nutrition.

The solutions named California and Purdue showed significant statistically yields for a probability of 99% in relation to the other treatments with yields of 20.795 and 19.372 kgr/m², respectively. For a probability of 95%, the Shell solution showed a significant response with a yield of 17.41. The lowest yield was a recorded for the Lago solution (14.930).

BIBLIOGRAFIA

1. ALLINSON, L. E. et al.— 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Government Printing Office. Washington. 160 p.
2. ANONIMO.— 1952. El cultivo hidropónico adelanta en Puerto Rico. La Hacienda 60 (6): 62.
3. ———.— 1958. Cultivando sin tierra. La Hacienda 53 (4): 48-49.
4. ———.— 1952. Soil physical conditions and plant growth. Amer. Soc. Agronomy 2: 491.
5. ———.— (S.f.) Técnica de fertilización. Vademecum de la potasa 8: 66.

6. ———.— (S.f.) El cultivo que no necesita tierra. Bohemia. La Habana. 15-17 p.
7. ARNON, D. I., W. E. FRATZKE and C. M. JOHNSON.— 1942. Hydrogen ion concentration in relation to absorption of organic nutrients by higher plants. *Plant physiology* 17: 515-524.
8. AVILA, C. y J. JULIAN.— 1953. Cultivos sin tierra. *La Hacienda* 48 (10): 48-50.
9. BARON, W. M.—1964. *Organisation in plants*. Edward Arnold. London. 81-101 p.
10. BONNER, J. y A. W. GALSTON.— 1961. *Principios de fisiología vegetal*. Ed. Aguilar. Madrid. 48-114 p.
11. BRENNAN, H. K. and WEISOETH.— 1957. The planting of field cucumbers. *Gartneryrket* 47: 97-99. (Res: Hort. Abst. 27: 386. 1957).
12. BROWN, J. C. et al.— 1961. Iron absorption by roots as affected by plants species and concentration of chelating agent. *Agronomy Jour*: 53: 81-85. (Res: Hort. Abts. 31: 464. 1961).
13. BROYER, T.C.— 1951. Mineral nutrition of plants. In the nature of the process of inorganic solute accumulation in roots. *The University of Wisconsin Press*. 188-249 p.
14. BURSTROM, H.— 1951. The mechanism of the ion absorption. En: *Mineral nutrition of plants*. The University of Wisconsin Press. 251-260 p.
16. CLYDE EYER, H., T. BROWN and H. A. TANNER.— 1958. Mineral requirements for clorella pyrenoidosa under autotrophic and heterotrophic conditions. En: *Trace elements*. Academic Press. New York. 157-173 p.
17. CURTIS, O. and CLARK.— 1960. *An introduction to plant physiology*. McGraw-Hill. New York. 78-97 p.
18. CURTH, P.— 1963. A description of semi-automatic hydroponics system. *Albrecht Thaer-Arch* 7: 615-623. (Res: Hort. Abst. 34: 206. 1963).
19. CUCLOS, M.— 1952. Note sur l'aquiculture de la tomate en zone équatoriale (Region de Yagambi). *Bull. Agric. du Congo* 48: 1.
20. DUNN, S.— 1949. *Elementary plant physiology*. Adisson Wesley Press. Cambridge. 14-86 p.
21. EDELSTEJN, V. I. and A. N. PAPANOV.— 1964. Influence of area of nutrition and soil fertility upon the development and sex expression in some monoecious plants. *Izv. Timirjazev. Sel'sk. Akad* 2: 138-143 (Res: Hort. Abst. 34: 699. 1964).

22. ELLIS, C. and M. L. SWANEY.— 1947. Soilles growth of plants. 2nd ed. Reinhold Publishing. New York. 277 p.
23. FAVILLI, H.— 1963. Report to the government of Yugoslavia on the installation of gashouses for soilles culture. Repp. FAO 1704. (Res: Hort. Abst. 34: 629 1964).
24. ———.— 1960. A new type of hidroponics installation for sub-irrigation by a sigple tank with central feeding. Rev. Ortoflorofrittica ital. 44: 277-286 (Res: Hort. Abst. 31: 224. 1961).
25. ———— and F. MASSANTINI.— 1960. Experiments on hydropo- nies culture. Progr. agric. Bologna. 6: 1034 1045. (Res: Hort. Abst. 31: 465. 1961).
26. FERRY, J. F. and H. S. WARD.— 1959. Fundamentals of plants phy- siology. Macmillan, New York. 288 p.
27. FREELAND, R. O.— 1936. Effect of transpiration upon the absorpion and distribution of minerals salts in plants. Amer. Jour. of Botany 23: 355-361.
28. FRIEDRICH, G. and G. SCHMIDT.— 1954 .The nutrient uptake of greenhouse cucumbers in water cultures. Arch. Gartenbau 2: 319-335 (Res: Chem. Abst. 48: 13826. 1954)
29. GARCIA R., A.— 1952. Horticultura. Salvat. Barcelona. 350-355 p.
30. GEISSLER, T., K. NICHISCH and H. HAENEL.— 1954. The soilles culture of glesshouse cucumbers. Arch. Gartenb 2: 84-100 (Res: Hort. Abst. 24: 540. 1954).
31. GOHLER, F.— 1961. The checking and regulation of nutrient solutions for the soilles culture of vegetables under glass. Arch. Gartenb 9: 96-125 (Res: Rort. Abst. 31: 723. 1961).
32. HEWIT, E. J.— 1952. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition; Commonwealth Agr. Bureaux. Maidstone. 241 p.
33. HOAGLAND, D. R.— 1919. Relation of the concentration and reaction fo the nutrient medium to the growth and adsorption of the plant. Jour. of Agric. Res. 17: 73-117.
34. HUTERWAL, G. O.— 1960. Hidroponia. Cultivo de las plantas sin tierra. 3^a ed. Ed. Hobby. Buenos Aires. 263 p.
35. JENNINGS, D. H.— 1963. The adsorption of solutes by plants cells. Oliver and Boyd. Edinburgh. 204 p.
36. KIM, E. I.— 1962. Cinders as an artificial medium for raising kilnsky cucumber in the glasshouse. Dkl. mosk. sel'hoz. Akad. K. A. T'- mirjazevt 7: 337-343. (Res: Hort. Abst. 34: 287. 1962).

37. LYCKLAMA, J. C.— 1963. Absorption of ammonion and nitrate by perennial Ryegrass. Acta bot. neerl. 12: 361-423. (Res: Abst. of Biol. Sc. 39: 175. 1965).
38. MAJUMDER, S. K. and S. DUNN.— 1959. Use of organic phosphate in nutrient culture. Plant and soil 10: 266-270.
39. MILLER, E. C.— 1964. Fertilidad del suelo. Salvat. Barcelona. 40-51 p.
40. MILLER, C. H.— 1961. Some effects of different levels of five nutrient elements on ball peppers. Proc. of the Amer. Soc. for Hort. Sc. 77: 440-447.
41. MILLER, E. C.— 1938. Plant physiology; with reference to the green plant. 2nd ed. McGraw-Hill. New York. 1201 p.
42. MURAS, I. G. and E. H. GORSUNOVA.— 1957. Producing high vegetable yields on artificial. Sad. i Ogorod. 11: 12-15. (Res. Hort. Abst. 28: 223. 1958).
43. OSAWA, T.— 1960. Studies on the salt tolerance of vegetable crops in sand culture. Jour Hort. Ass. Japan.
44. RICHTHUS, H. and H. J. DODILLET.— 1957. Cultivation of glasshouse cucumbers in various water culture media. Garteb. 22: 507-571. (Res: Hort. Abst. 28: 408. 1958).
45. ROBERTS, E. C.— 1955. Responses of plants to sodium applications. Dis Abst. 15: 1696-1697. (Res: Hort. Abs. 26: 1690).
46. RODNIKOV, N. P. and E. I. KIM.— 1963. Some aspects of the nutrition of cucumbers grown on artificial media Dokl. mosk. Sol'hoz. Akad. K. A. Timirjazeva 83: 213-217 (Res: Hort. Abst. 34: 699. 1964).
47. SAUNBY, T.— 1959. Soilles culture; Transatlantic arts Inc. New York. 104 p.
48. SHIVE, J. W. and W. R. ROBBINS.— 1951. Methods of growing plants in solutions and sand cultures. New Jersey. Agric. Exp. Sta. Bull. 636: 24.
49. SHOLTO, J. D.— 1951. Hydroponics; the bengal system. Oxford Univ. 147 p.
50. STILES, W.— 1948. Trace elements in plants and animals McMillan. New York. 189 p.
51. STAMBERA, J.— 1963. Unisexual plants of greenhouse cucumber varieties and the possibility of using them for breeding. Sborn. vys. Sk. zomed. Berm, Rada A. 3: 235-242 (Res: Hort. Abst. 34: 698. 1964).
52. SUTCLIFFE, J. F.— 1962. Mineral salts absorption in plants. Pergamon Press. Oxford. 194 p.

53. TICQUET, C. E.— 1951. Soilles culture; recent development. Agriculture (London) 57: 484-486 (Res: Soils and Fert. 14: 142. 1951).
54. TSUJIMURA, K and F. IKEDA.— 1957. Iron ethylenediamine tetracetate chelate for water culture. Nippon Dojohiryojakki Zasshi. 27: 479-480 (Res: Chem. Abst. 2: 4903-1958).
55. TUMANOV, I. I., G. B. KUZINA y L. D. KARNIKOVA.— 1960. (Tit. en uso). Crecimiento de plantas en gravilla para propósitos experimentales. Acad. Sc. Moscú URSS 7 (3): 263-267. (Res: Biol. Abst. 36: 2622. 1961).
56. TURNER, W. I. y V. M. HENRY.— 1954. Horticultura y floricultura sin tierra; cultivo de plantas científicamente controlado. (Traducción de J. L. de la Loma). Uteha. Mexico. 190 p.
57. YAMASAKI, K.— 1963. Gravel culture Int. Internacional de la Pota-sa. Fotocopia.
58. ZAPATA, C. y A. AVELLA T.— 1964. Cultivos hidropónicos; ensayo de seis soluciones en tomate (*Lycopersicon sculentum* L.) bajo condiciones de invernadero en Palmira. Fac. de Agronomía. Palmira (Colombia) 85 p. (Tesis no publicada).
59. ZHURBISTKII, Z. I. and D. V. STRANSBERG.— 1954. Effects of temperature on the absorption of phosphorus and calcium by plants. Doklady Akad. Nauk. SSSR 96: 1065 1067. (Res: Chem. Abst. 48: 14075-14076. 1954).

