

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CULTIVO
HIDROPONICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS A NIVEL
DOMÉSTICO**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO ROBERTO CASTAÑEDA DEL CID

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 1997

08
+ (3948)
c.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presente a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CULTIVO
HIDROPONICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS A
NIVEL DOMÉSTICO**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de

INGENIERIA QUIMICA

con fecha 16 de Agosto de 1996

FRANCISCO R. CASTAÑEDA DEL CID



MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARIOS
VOCAL 1o.	ING. MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ GUERRA
VOCAL 2o.	ING. JACK DOUGLAS IBARA SOLÓRZANO
VOCAL 3o.	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA MÉNDEZ
VOCAL 4o.	BR. VICTOR MANUEL LOBOS ALDANA
VOCAL 5o.	BR. WAGNER GUSTAVO LÓPEZ CÁCERES
SECRETARIA	INGA. Y LCDA GILDA CASTELLANOS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXAMINADOR	ING. WILLIAMS ALVAREZ
EXAMINADOR	ING. OTTO RAÚL DE LEÓN
EXAMINADOR	ING. RODOLFO ESPINOZA
SECRETARIA	INGA. Y LICDA. GILDA MARINA CASTELLANOS



**INSTITUTO DE NUTRICION DE
CENTRO AMERICA Y PANAMA**

Centro Regional de la
Oficina Sanitaria Panamericana
Calzada Roosevelt Zona 11, Guatemala, C.A.
Teléfonos: (502-2) 723762-67
FAX: (502-2) 736529 Correo-e: HDeIgado@INCAP.ORG.GT



IN-SA-SP-96-028

Noviembre 8, 1996

*Ing. Julio Chavez, Director
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria*

Estimado Ing. Chavez:

Tengo el agrado de informarle que he asesorado y revisado el informe final de Tesis del estudiante universitario Francisco Roberto Castañeda Del Cid, Titulado: "Diseño y evaluación de un sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel doméstico".

Considero que este trabajo cumple con los requisitos de una tesis de grado, y que además constituye un valioso aporte para solucionar la baja accesibilidad para la producción de alimentos de los pobladores de áreas urbano marginales y rurales de Guatemala, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradeciéndole su atención a la presente, quedo de usted.

Muy Atentamente,

*Dr. Mario Molina, p.H.D.
Coordinador programa de producción
y tecnología de alimentos*

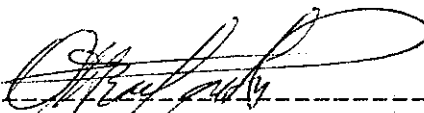
Guatemala, 24 de Febrero de 1997.

ING. JULIO E. CHAVEZ M.
DIRECTOR DE ESCUELA DE ING. QUIMICA.
FACULTAD DE INGENIERIA. U.S.A.C.

Estimado Sr. Director, después de saludarlo deseo hacer de su conocimiento que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del Sr. FRANCISCO R. CASTANEDA DEL CID, de titulo: "DISEÑO Y EVALUACION DE UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO PARA LA PRODUCCION DE HORTALIZAS A NIVEL DOMESTICO"

Una vez revisado este trabajo, lo he encontrado satisfactorio para su aprobación. Por tanto le pido que se proceda con los trámites subsiguientes al efecto.

Muy Atentamente:



Ing. Otto Raul de León de Paz.
Revisor del Informe Final de Tesis.

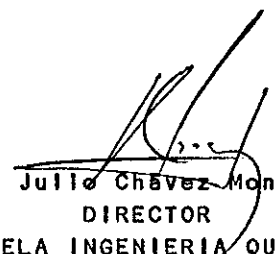


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo del estudiante, Francisco Roberto Castañeda Del Cid, titulado: **DISEÑO Y EVALUACION DE UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO PARA LA PRODUCCION DE HORTALIZAS A NIVEL DOMESTICO**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 9 de abril de 1,997.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis del estudiante; **Francisco Roberto Castañeda Del Cid**, titulado: **DISEÑO Y EVALUACION DE UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPONICO PARA LA PRODUCCION DE HORTALIZAS A NIVEL DOMESTICO**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 9 de abril de 1,997.

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A MI MADRE

Patricia Del Cid

A MIS HERMANOS

**Carlos, Gerardo, Mónica, Melissa,
Roberto y Michelle**

A MIS ABUELOS

**Hortencia y Marciano
Maria(q.e.p.d) y Porfirio(q.e.p.d)**

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO

AL PERSONAL DE INCAP

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, y su personal, especialmente a las siguientes personas:

**Dr. Mario Molina
Ing.Q. Carlos Sánchez
Sr. Audel López
Srta. Susan Patzán
Sra. Mildred de la Rosa
Sra. Viky de García
Ing.Q. Haydee González
Sr. Rubén Darío Mendoza
Sra. Anna Luisa Lam de Franco**

Por toda su colaboración, consejos, paciencia y sobre todo por la amistad que me brindaron durante todo este tiempo.

A mis amigos, por darme una sincera amistad a lo largo de todos estos años. Gracias por apoyarme en todos mis proyectos, por estar conmigo en los momentos de tristeza y alegría, de triunfo y de fracaso. Mucho de lo que tengo y de lo que soy se los debo a ustedes, muchas gracias.

Al Lic. César Trujillo, por ser siempre un gran amigo y por todos tus consejos y apoyo.

A Luky, por ser una persona muy especial, por estar allí cuando la necesité y por esas locuras, que la hacen ser una mujer fuera de lo común...

CONTENIDO

I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCIÓN	4
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
	A. Definición de cultivo hidropónico	5
	B. Sistemas de cultivo hidropónico	6
	1. Sistemas de cultivo en agua	7
	2. Sistemas de cultivo en sustrato inerte	8
	3. cultivos aereopónicos	9
	C. Definición, características y tipos de sustratos	10
	1. Definición	10
	2. Características de un sustrato	10
	3. Aireación de un sustrato	11
	4. Retención de agua del sustrato	12
	5. Tipos de sustratos	13
	D. Solución de nutrientes	15
	E. Cultivos experimentales	18
	1. La lechuga	18
	2. El rábano	20
IV.	JUSTIFICACIONES	21
V.	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	22
VI.	HIPÓTESIS	23
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
	A. Generalidades	24
	B. Primera etapa: análisis de sustratos	24
	1. Objetivo	24
	2. Materiales y equipo	24
	3. Métodos	25
	C. Segunda etapa: solución de nutrientes	27
	1. Objetivo	27
	2. Materiales y equipo	27
	3. Métodos	28
	D. Tercera etapa: sistemas de cultivo hidropónico	28
	1. Objetivo	28
	2. Materiales y equipo	28
	3. Métodos	29
	E. Cuarta etapa: efectos del sustrato y la solución de nutrientes, sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos hidropónicos	30

1.	Objetivo	30
2.	Materiales y equipo	31
3.	Método	31
F.	Quinta etapa: Análisis económico	33
1.	Objetivo	33
2.	Método	33
G.	Sistema de cultivo hidropónico para la producción de de hortalizas a nivel doméstico	34
1.	Materiales necesarios	34
2.	Recipientes de cultivo	36
3.	Preparación del sustrato	36
4.	Preparación del semillero	36
5.	Trasplante a los sistemas de cultivo hidropónico	37
6.	Nutrición de las plantas	38
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
A.	Análisis preliminar	40
B.	Análisis de sustratos	41
1.	Disponibilidad de sustratos	41
2.	Formulación de sustratos	42
3.	Análisis físicos de sustratos	42
4.	Análisis químicos de sustratos	46
C.	Solución de nutrientes	49
D.	Sistemas de cultivo hidropónico	50
E.	Efectos del sustrato y la concentración de la solución de nutrientes sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos hidropónicos	50
1.	Rendimiento de los cultivos hidropónicos	51
2.	Calidad de los cultivos hidropónicos	53
F.	Análisis económico	56
IX.	CONCLUSIONES	58
X.	RECOMENDACIONES	59
XI.	BIBLIOGRAFIA	61
XII.	ANEXOS	65
Anexo 1	Cuadros	66
Anexo 2	Gráficos	101
Anexo 3	Figuras	109

LISTA DE CUADROS

- CUADRO 1 CANTIDAD EN QUE SON REQUERIDOS LOS NUTRIENTES POR LAS PLANTAS.
- CUADRO 2 ABSORCIÓN APROXIMADA DE NUTRIENTES PARA VARIOS CULTIVOS PROTEGIDOS.
- CUADRO 3 CONCENTRACIÓN DE ALGUNOS NUTRIENTES UTILIZADOS EN CULTIVOS HIDROPONICOS A NIVEL EXPERIMENTAL, EXPRESADOS EN mg /litro.
- CUADRO 4 MASAS (g) DE COMPUESTOS QUÍMICOS REQUERIDOS PARA LA PREPARACIÓN DE 1000 LITROS DE ALGUNAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES UTILIZADAS CON PROPÓSITOS DE INVESTIGACIÓN.
- CUADRO 5 FORMULACIÓN DE ALGUNAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES DE USO COMERCIAL, EXPRESADOS EN mg / litro.
- CUADRO 6 FORMULACIÓN DE LOS SUSTRATOS ANALIZADOS.
- CUADRO 7 ANÁLISIS FÍSICO DE LOS SUSTRATOS.
- CUADRO 8 DIFUSIVIDAD DEL OXÍGENO EN LOS SUSTRATOS.
- CUADRO 9 RESULTADOS DE RETENCIÓN DE AGUA DE SUSTRATOS POR EL MÉTODO KEEN-RACZKOWSKI.
- CUADRO 10 RETENCION DE AGUA DE LOS SUSTRATOS
- CUADRO 11 ANÁLISIS QUÍMICO DE ARENA GRIS Y PIEDRA PÓMEZ.
- CUADRO 12 ANÁLISIS QUÍMICO DE CASCARILLA DE ARROZ.
- CUADRO 13 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN SUELO EN GUATEMALA.
- CUADRO 14 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN LOS SUSTRATOS Y EL SUELO.
- CUADRO 15 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO EN LOS SUSTRATOS Y EL SUELO.

CUADRO 16	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN LOS SUSTRATOS Y EL SUELO.
CUADRO 17	ENUMERACIÓN Y COSTO DE LAS SALES MINERALES NECESARIAS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NUTRIENTES UTILIZADA EN EL ESTUDIO.
CUADRO 18	PROPORCIONES DE LA SOLUCIONES CONCENTRADAS A Y B UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES ANALIZADAS.
CUADRO 19	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS SUJETOS A ESTUDIO.
CUADRO 20	RENDIMIENTO DE RÁBANO OBTENIDO POR HIDROPONIA.
CUADRO 21	COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO DE RÁBANO EXPERIMENTALES Y DE CORRELACIÓN.
CUADRO 22	RENDIMIENTO DE LECHUGA OBTENIDA EN HIDROPONIA.
CUADRO 23	COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO DE LECHUGA EXPERIMENTALES Y DE CORRELACIÓN.
CUADRO 24	MASA UNITARIA PROMEDIO DE RÁBANOS OBTENIDOS POR HIDROPONIA EN CADA REPETICIÓN.
CUADRO 25	MASA UNITARIA PROMEDIO DE LECHUGAS OBTENIDAS POR HIDROPONIA.
CUADRO 26	MASA Y COSTO DE RÁBANO Y LECHUGA COMPRADOS EN EL MERCADO LOCAL.
CUADRO 27	RESULTADO DEL ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE RÁBANO Y LECHUGA HIDROPÓNICOS Y COMERCIALES.
CUADRO 28	CANTIDAD DE RÁBANOS Y LECHUGAS HIDROPÓNICOS SIN DAÑOS EN SU ESTRUCTURA.
CUADRO 29	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RÁBANO.
CUADRO 30	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHUGA.
CUADRO 31	INSUMOS NECESARIOS PARA IMPLEMENTAR UN HUERTO HIDROPÓNICO, COSTOS Y PUNTO DE VENTA.
CUADRO 32	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS PARA LECHUGA OBTENIDA POR MÉTODO DE SUSTRATO SOLIDO.

- CUADRO 33 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS. PARA LECHUGA OBTENIDA POR MÉTODO DE RAÍZ FLOTANTE.
- CUADRO 34 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS. PARA RÁBANO OBTENIDO POR MÉTODO DE SUSTRATO SOLIDO.
- CUADRO 35 RENTABILIDAD ECONÓMICA (IR%) DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS. PARA RÁBANO Y LECHUGA EN LOS DOS MÉTODOS DE CULTIVO, SUSTRATO SOLIDO Y RAÍZ FLOTANTE.
- CUADRO 36 TIEMPO ENTRE FASES PARA ESPECIES EN SIEMBRA DIRECTA.
- CUADRO 37 DISTANCIAS DE SIEMBRA RECOMENDADAS PARA ESPECIES EN SIEMBRA DIRECTA.
- CUADRO 38 DISTANCIA Y PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN SEMILLERO PARA ESPECIES EN SIEMBRA POR TRASPLANTE.
- CUADRO 39 TIEMPO ENTRE FASES PARA ESPECIES EN SIEMBRA POR TRASPLANTE.
- CUADRO 40 DISTANCIAS DE SIEMBRA RECOMENDADAS PARA ESPECIES EN SIEMBRA POR TRASPLANTE.

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DEL RÁBANO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S1'.
- GRÁFICO 2 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DEL RÁBANO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S2'.
- GRÁFICO 3 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DEL RÁBANO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S3'.
- GRÁFICO 4 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S1'.
- GRÁFICO 5 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA EN FUNCIÓN E LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S2'.
- GRÁFICO 6 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S3'.
- GRÁFICO 7 COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LA LECHUGA EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUSTRATO S4'.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 CORTE DIAGRAMÁTICO DE UNA SECCIÓN DE UN TANQUE O CAMA PARA LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS POR EL SISTEMA DE GERICKE DE CULTIVO SUMERGIDO EN AGUA.
- FIGURA 2 ALGUNAS FORMAS DE CULTIVO CON RECIRCULACION SUMERGIDO O SEMISUMERGIDO UTILIZADO EN JAPÓN, MOSTRADO EN CORTE TRANSVERSAL.
- FIGURA 3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UN SISTEMA DE PELÍCULA NUTRIENTE (NFT).
- FIGURA 4 VISTA GENERAL DE UN SISTEMA NFT.
- FIGURA 5 TANQUE DE RECUPERACIÓN Y TANQUE DE ALIMENTACIÓN EN UN SISTEMA NFT AUTOMATIZADO.
- FIGURA 6 CULTIVO EN GRAVA SUBIRRIGADO, ALIMENTACIÓN DIRECTA.
- FIGURA 7 SISTEMA CASCADA A PEQUEÑA ESCALA DE CULTIVO EN GRAVA, PARA USO DOMÉSTICO, EN ISRAEL.
- FIGURA 8 COMPORTAMIENTO GENERALIZADO DEL RENDIMIENTO DE UN CULTIVO EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE UN FERTILIZANTE DADO.
- FIGURA 9 PLANCHA DE DUROPOR QUE MUESTRA LA FORMA EN QUE SE DISTRIBUYEN LOS AGUJEROS EN UN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE.
- FIGURA 10 DIAGRAMA DEL TRASPLANTE EN EL SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE.

I. RESUMEN

La dieta diaria de grupos poblacionales ubicados en áreas marginales tanto en el area urbana como en el área marginal no incluye en general a las hortalizas, las cuales son una rica fuente de vitaminas y minerales. Además, las hortalizas pueden cultivarse en forma intensiva, efectiva y eficiente, el cultivo de hortalizas no solo puede mejorar la disponibilidad y acceso de los alimentos, sino también ser una fuente de ingresos. la hidroponia ofrece una alternativa para el cultivo de estos vegetales.

La finalidad de este trabajo es: diseñar y evaluar un sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel doméstico, que sea viable, técnica y económicamente, para ser implementado por estas personas, sin necesidad de que cuenten con conocimientos de agricultura, química o matemáticas.

Los cultivos hidropónicos o hidroponia, como se conoce a esta tecnología, no es mas que la producción de plantas sin hacer uso de la tierra o suelo, utilizando como medio de crecimiento de la raíz un material inerte llamado sustrato al cual se le agregan, en forma de solución, todos los nutrientes necesarios para el desarrollo de los vegetales. El sistema diseñado se basó en experiencias previas realizadas en otros países como Nicaragua, Costa Rica, Colombia y Chile, con adaptaciones al ámbito socioeconómico de Guatemala.

Para el diseño de este sistema hidropónico, el trabajo se dividió en cinco etapas:

- Primera etapa: análisis de sustratos.
- Segunda etapa: solución de nutrientes hidropónicos.
- Tercera etapa: sistemas de cultivo hidropónico.
- Cuarta etapa: efectos del sustrato y la concentración de la solución de nutrientes, sobre el rendimiento y calidad de los cultivos.
- Quinta etapa: análisis económico de los cultivos hidropónicos.

En la primera etapa se realizó un sondeo de los posibles materiales existentes en la ciudad de Guatemala, que podían servir como sustratos, luego de descartar varios de ellos se determinó que la arena de río, la piedra pómez y la cascarilla de arroz, eran convenientes. Luego se realizaron mezclas de estos tres sustratos para hacerles análisis físicos y químicos llegándose a encontrar tres sustratos con distintas cualidades los cuales servirían para posteriores análisis, los sustratos fueron los siguientes:

- S1' Arena de río
- S2' Cascarilla de arroz
- S3' Arena de río(25%) + Piedra pómez(25%) + Cascarilla de arroz(50%)

La segunda etapa consistió en encontrar una solución de nutrientes que supliera los requerimientos nutricionales de varios tipos de hortalizas, para ello se realizó otro sondeo, concluyéndose que en Guatemala no existe ninguna formulación que contenga todos los nutrientes necesarios para un cultivo hidropónico, por lo que se siguieron los lineamientos dados por Marulanda (10,32), para la fabricación a nivel artesanal de dos soluciones concentradas de nutrientes hidropónicos(A y B), para lo cual nuevamente se realizó un sondeo del mercado para verificar que todos los nutrientes se encontraran disponibles y en los grados técnicos requeridos para la fabricación de dichas soluciones.

En la tercera etapa se verificó la eficiencia de los dos métodos de cultivo hidropónico que mejores resultados han presentado en otros países de Centro América, concluyéndose que no se requiere de altos conocimientos técnicos y recursos económicos para la implementación de estos dos métodos, los cuales son, *Sustrato Sólido*, que consiste en la utilización de un sustrato inerte para el desarrollo de las raíces de la planta, mientras que el método de *Raíz Flotante*, utiliza un medio líquido para el desarrollo de las mismas. Ambos métodos produjeron mejores rendimientos en los cultivos experimentales, rábano y lechuga, que los reportados en la teoría, mientras que el método de raíz flotante presentó mayores rendimientos que el de sustrato sólido, para la lechuga.

La cuarta etapa tuvo la finalidad de determinar los efectos que el sustrato y la concentración de la solución de nutrientes, tenía sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos experimentales. Obteniéndose que los sustratos analizados no afectaron significativamente al rendimiento o a la calidad de los dos cultivos experimentales. La concentración de la solución de nutrientes si afectó el rendimiento de ambos cultivos, encontrándose diferencias significativas entre tratamientos. En los resultados del rendimiento de la lechuga, se encontró que la concentración, fisiológicamente óptima, no tuvo diferencia significativa con la recomendada por Marulanda(10,32), por lo que se demostró su validez para las condiciones de la ciudad de Guatemala. Respecto a la calidad de los cultivos, las pruebas físicas(tamaño, masa, daños en la estructura) y químicas (concentración de minerales) también mostraron diferencias significativas con los productos comerciales y/o los datos reportados en la teoría, siendo siempre superiores los cultivos hidropónicos a los de referencia. El análisis colorimétrico no mostró diferencia significativa entre cultivos hidropónicos y comerciales.

En la quinta etapa se verificó la viabilidad económica de la implementación de los cultivos hidropónicos a nivel doméstico, encontrándose que los productos obtenidos por cultivo hidropónico tienen un costo mucho menor que los que se compran en el mercado local. Los índices de rentabilidad económica (%IR) tuvieron variaciones entre 70% y 130% dependiendo del sistema y del cultivo a utilizar, lo que demuestra que la implementación de un huerto hidropónico doméstico puede generar ingresos sustanciales para la familia sin dejar a un lado sus actividades productivas o domésticas. Tomando en cuenta que para la producción de lechuga en hidroponía, por el método de sustrato sólido se necesita vender 13 lechugas para pagar la

inversión por metro cuadrado, se concluye que un huerto hidropónico doméstico es viable económicamente.

En conclusión, el proyecto de huertos hidropónicos domésticos demostró ser viable técnica y económicamente, por lo que las familias que lo apliquen pueden, además de mejorar y diversificar su dieta, generar ingresos extra, que les servirán para mejorar su nivel de vida.

II. INTRODUCCIÓN

Este trabajo está enfocado a la producción de frutas y hortalizas, a través de un sistema de cultivo sin tierra, en el que las plantas se desarrollan en un material inerte, llamado sustrato, que únicamente le sirve de sostén a la planta y para retener los nutrientes que se le agregan a la planta en forma de una solución de nutrientes. Debido a los altos rendimientos por área y lo sencillo de los materiales, que en su mayoría son de desecho, la hidroponía ha servido en varios países de América Latina como un programa para el combate al hambre y la pobreza(32).

El objetivo de este trabajo fue adaptar la tecnología, desarrollada para las condiciones de otros países, a las condiciones socioeconómicas de Guatemala, investigando la disponibilidad de los materiales necesarios y comprobando, mediante experimentación, la eficiencia de los parámetros desarrollados para otros países, en las condiciones de Guatemala.

Con base en los resultados obtenidos con la investigación y experimentación con dos cultivos, lechuga y rábano, se procederá a sistematizar la tecnología adaptada para que en un proyecto posterior pueda ser transferida a comunidades que sufren problemas de disponibilidad y acceso de alimentos.

El estudio será enfocado desde el punto de vista de ingeniería, en el diseño y evaluación de la tecnología adaptada, sus componentes y sus efectos sobre la calidad y rendimiento de las hortalizas producidas, y no desde el punto de vista de la agronomía, ya que en la hidroponía popular se descarta la gran mayoría de las prácticas agronómicas, para que pueda ser implementado y hasta modificado, según la necesidad, por cualquier persona, no importando si tiene o no experiencia o preparación técnica en este campo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

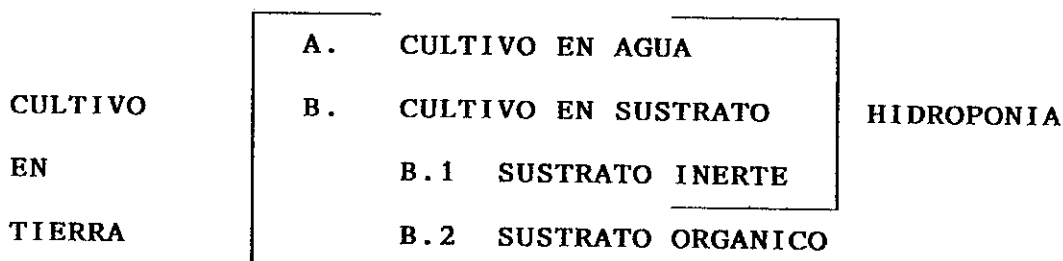
A. DEFINICIÓN DE CULTIVOS HIDROPONICOS

Los fundadores de la hidroponia, del griego *hydros*, agua, y del latín *ponos*, plantar, trataban de localizar los alimentos que las plantas le absorben del suelo. Para conseguirlo sumergían las plantas en bañeras, disolviéndose de esta manera los nutrientes químicos artificiales(21). El concepto de hidroponia, plantas creciendo sin suelo, no es nuevo, archivos de geroglíficos Egipcios describiendo plantas creciendo en agua, datan de muchos años antes de Cristo(7). El concepto de plantas creciendo experimentalmente en agua se extiende al menos al siglo XVII, de este modo investigadores como Boyle han intentado hacer crecer plantas únicamente en agua, así las plantas crecieron relativamente bien, pero la explicación dada en ese entonces estuvo lejos de ser satisfactoria, " los resultados obtenidos se atribuyen a un verdadera asimilación y transmutación de agua en sustancia vegetal(15).

En climas secos se ha pensado en sistemas hidropónicos de invernadero que reciclan el agua destilada por la transpiración de las plantas, y que se condensa en techos y paredes. Este sistema permite incluso utilizar las aguas residuales de los animales de una granja. La Universidad de Arizona se ha desarrollado un sistema de hidroponia que permite la colonización espacial y resuelve el problema de la ausencia de gravedad en las plantas. Los materiales mas peregrinos y extraños son minuciosamente estudiados para que sirvan de soporte a las plantas, en lugar de la tradicional tierra. Científicos soviéticos del Instituto de Física y Química Orgánica de Bielorrusia han creado un suelo artificial, al que han denominado cósmico, que se ha experimentado en la estación espacial Salyut, para cultivar verduras. Se trata de una arena plástica a la que se ha añadido los abonos minerales indispensables para el crecimiento de la plantas. Los suelos cósmicos no se degradan, lo cual permite obtener cosechas más abundantes y continuas con solo reponer los abonos. Estas tierras sintéticas están siendo aplicadas en terrenos áridos. En este sentido se ha pensado en un polímero en forma de grano de arroz capaz de absorber 700 veces su peso en agua. Con 100 gramos por metro cuadrado se consigue un efecto triple: que el plástico absorba el agua sobrante en caso de lluvias o riegos abundantes, que ceda por ósmosis agua al cultivo en caso de sequía, y que facilite una mejor oxigenación de la tierra. Los suecos han ideado un material cerámico que cede al cultivo hidropónico los nutrientes y el agua estrictamente necesarios, sin que se requieran controles continuos para abrir y cerrar grifos. Los desechos también sirven, investigadores israelitas de la Facultad Agrícola de Tejnión han desarrollado un acondicionador de suelos compuesto de papel. El material incentiva el crecimiento de determinados vegetales(21).

La palabra *hidroponia* fue introducida por W.A Setchell y subsecuentemente adoptada por Gericke, para describir la producción de cultivos en un medio líquido, pero ahora el concepto de cultivos hidropónicos incluye a los cultivos en grava y arena(15).

Existe un pequeño acuerdo internacional en que debe ser clasificado como cultivo sin suelo, o cuales pueden ser clasificados como hidropónicos, O la siguiente terminología es entonces propuesta:



Una definición que se deriva de los cultivos hidropónicos es la *hidroponia popular o doméstica*, la cual se define como una técnica de cultivo, que permite a cualquier persona cosechar en sus propios hogares, hortalizas, flores y frutas, sin utilizar la tierra o suelo, ya que este es sustituido por un material inerte llamado sustrato, utilizando muy poca agua y a un bajísimo costo(40). En este método de cultivo hidropónico se utilizan en la mayoría de la veces materiales de desecho y pequeños espacios de la vivienda no aptos para la agricultura(32-34).

B. SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPONICO

Como se mencionó los cultivos hidropónicos tienen dos modalidades, uno es en un sustrato inerte y otro en un medio acuoso, ambos sistemas han sido utilizados extensamente a nivel comercial y a pequeña escala en distintas partes del mundo. Estos sistemas tan variados no afectan significativamente los resultados entre uno y otro, en cuanto a calidad y aspecto de los frutos se refiere, pero si varía la morfología de la raíz, sin variar la resistencia al transporte de agua(19). A continuación se presenta una recopilación de los principales sistemas de cultivo hidropónico que se han utilizado alrededor del mundo, con fines de investigación o comerciales y hasta domésticos.

1. SISTEMA DE CULTIVO EN AGUA

Bajo este título, también conocido como cultivo en solución, están agrupados sistemas de cultivo sin sustrato sólido que únicamente se utiliza para el almácigo. Entre los sistemas que mejores resultados a nivel experimental o comercial, presentan, se tienen los siguientes:

a) **Sistema Gericke:** es el primer sistema para producción comercial de cultivos sin suelo que atrajo la atención mundial. La principal característica de los cultivos en agua, es que la raíz está total o parcialmente inmersa en la solución de nutrientes, la cual puede estar estática o en circulación continua. En su publicación Gericke describió un sistema que medía aproximadamente 0.6 m de ancho, 10 m de longitud y 0.15 m de profundidad. El modelo original fue ampliamente probado en varios países y generalmente se encontró que era insatisfactorio en la práctica, posiblemente debido en parte a la pobre aireación en la solución. Una modificación de sistema hidropónico de Gericke fue presentada, en la cual un espacio de aire, incrementando el crecimiento de las plantas, era puesto entre la cubierta del tanque, en el que las plantas eran sostenidas, y la superficie de la solución, creándose una atmósfera saturada, por lo que se obtuvieron dos clases de raíces, una absorbente, creciendo dentro de la solución, y otra de aireación en el espacio de aire, sobre la superficie de la solución (figura 1). A pesar de que el modelo de Gericke utiliza agua, se considera un híbrido entre sustrato inerte y cultivo en agua(15).

b) **Sistema de hidroponía flotante:** es una forma de cultivo en agua en la cual las plantas están soportadas sobre la superficie de la solución en balsas ligeras de material plástico, siendo el poliestireno expandido (duropor) la opción mas obvia. Una instalación experimental de este tipo fue descrita por Massantini(1976). La cama de, 1.01 m de ancho, 3 m de longitud y 0.15 m de profundidad, fue hecha de madera y forrada con plástico, los paneles de flotación fueron de 1 m² y 2 cm de espesor. La solución nutritiva recirculada con aireación controlada por un timer, los cultivos experimentales utilizados fueron lechuga, cardo y fresas, localizadas en orificios de 15 mm de diámetro con espaciamientos apropiados en las balsas de soporte. Los rendimientos por planta fueron siempre un poco inferiores a aquellos obtenidos en suelo, pero el rendimiento por unidad de área podía ser incrementado utilizando altas densidades de plantas en el sistema hidropónico.

c) **Cultivo sumergido con recirculación:** las técnicas mas comúnmente usadas incluyen al sistema *KYOWA* y el sistema *M*. El sistema *kyowa* es descrito como un sistema semisumergido en el cual la solución nutritiva es bombeada desde un tanque de almacenamiento hasta la cama de cosechamiento, desde la cual regresará a un tanque subterráneo por medio de tubería (figura 2a). El sistema *M* funciona sin la ayuda de ningún tanque de almacenamiento, la solución nutritiva se retira de las camas con una bomba de circulación, el flujo se lleva a un mezclador de aire y es alimentado de nuevo a la cama a través de pequeños orificios situados a lo largo del fondo de la cama.(figura 2b) Otros sistemas utilizados en el Japón incluyen el sistema *KUBOTA*, desarrollado en unidades de plástico rígido ABS (fig 2c).

d) **Técnica de película nutriente:** conocida en sus siglas en inglés como *NFT* (nutrient film technique). Es un reciente sistema, caracterizado por el uso de una corriente de solución poco profunda, fluyendo a través de las camas o zanjas. Sus principales características son:(figuras 3, 4 y 5)

- i. Tanque de almacenamiento conteniendo solución diluida.
- ii. Una bomba, la cual envía la solución nutritiva a la parte superior de las zanjas.
- iii. Zanjas paralelas en las cuales los cultivos se sostienen.
- iv. Tubería, en la cual las zanjas drenan para conducir la solución de regreso al tanque de almacenamiento.
- v. Sistemas de control y monitoreo, para mantener la concentración de nutriente (alcalinidad), pH y nivel de agua.

2. SISTEMAS DE CULTIVO EN SUSTRATO INERTE

En estos sistemas las raíces de las plantas se desarrollan en un medio sólido. Esto tiene una obvia ventaja ya que la cosecha en un ámbito compacto está enteramente autosoportada. En esta modalidad se pueden tener sistemas abiertos (sin recirculación) y sistemas cerrados (con recirculación) (15).

a) **Sistemas abiertos:** con excepción de las formas muy simples con el uso de fertilizantes sólidos aplicados a la superficie de las camas e irrigando luego. El sustrato es irrigado con soluciones de nutrientes muy similares a las usadas en el cultivo en agua. Cualquier exceso de agua se drena y se desecha. En favor de evitar la necesidad de irrigación frecuente e indebida, el sustrato utilizado es, normalmente más fino y por lo tanto con más poder retención de agua que el usado en sistemas cerrados tales como el cultivo en grava. El uso de sustratos granulares inertes en un sistema abierto es frecuentemente referido como cultivo en arena, este es el sustrato típico en dichos sistemas, pero otros posibles materiales incluyen, perlita, vermiculita y varios sustratos minerales con formas finas apropiadas, hasta clinker molido ha sido utilizado. Se ha definido el cultivo en arena como sigue: " las raíces de las plantas están creciendo en un sustrato sólido, poroso o no poroso, que no colapsa y que no tiene diámetros menores a 3 mm ". Otros investigadores notaron que arena con partículas en un rango de 0.25 -1.8 mm eran a menudo recomendadas, ellos nunca consideraron partículas de menos de 0.6 mm por ser muy finas y prefirieron el uso de arena en el rango de 0.6 - 2.5 mm. También materiales más grandes (1.6 - 3.2 mm) pueden ser utilizados, pero una irrigación mas frecuente es requerida.(15)

b) **Sistemas cerrados:** la característica central de este tipo de sistema es que la camas, o lechos herméticos, son llenados con un sustrato inerte y grueso. El tamaño de partícula es usualmente citado tan grande como 3 mm de diámetro; grava de 7.5 mm libre de partículas finas, ha sido recomendado. Las camas son inundadas periódicamente con solución nutritiva, esta última se drena y es regresada al tanque de almacenamiento (figura 6). Desde el momento en que la solución es recirculada, se obtienen ahorros en el uso de agua y nutrientes. Dichos sistemas han sido descritos como grava clásica y aún dominan el concepto popular de hidroponia. Mucho ingenio, trabajo de investigación e Ingeniería han sido aplicados al cultivo en grava. Una versión a pequeña escala de un sistema en terrazas, apropiado para uso doméstico o posiblemente en locaciones remotas ha sido descrito (figura 7), cada terraza está equipada con una cisterna y una válvula de flotación con las cuales la solución es bombeada a la terraza inferior, el nivel de agua se eleva y eventualmente comienza a derramarse en la cisterna a través de una pequeña salida cerca del tope de la cama. La válvula se eleva y abre el drenaje principal desde la base de la terraza inferior. La solución se derrama desde el tope de la cisterna y llena la siguiente cama en secuencia.(15)

3. CULTIVOS AEREOPÓNICOS

Además de los dos sistemas descritos, investigadores franceses han desarrollado un cultivo hidropónico en medio aéreo y en total oscuridad, para de esta forma proteger las raíces de la luz solar. El reparto de nutriente se efectúa mediante un aerosol que humedece las raíces. El sistema está pensado para evitar enfermedades, ya que el medio aéreo no favorece la proliferación de bacterias peligrosas. Por regla general, en los cultivos las plantas están a salvo de sus enemigos naturales, siempre que las semillas hayan sido previamente desinfectadas.(21)

C. DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE SUSTRATOS

1. DEFINICIÓN

Como sustrato se conoce al material en el cual se desarrollará las raíces de las plantas y que además dará fijación a la misma en un sistema de cultivo hidropónico(14). El sustrato, además de dar fijación a la planta, servirá como un medio para retener nutrientes y humedad para la planta(40).

2. CARACTERÍSTICAS DE UN SUSTRATO

Un sustrato debe cumplir los siguientes requerimientos:(32-34)

- Retener y suplir grandes cantidades de agua, permitiendo así intervalos amplios de irrigación.
- Mantener una estructura estable durante su período de uso, y una textura uniforme conocida para guardar grandes volúmenes de aire en el caso de una excesiva irrigación.
- Absorber y retener los nutrientes para la planta en forma disponible y tener una buena capacidad amortiguadora para compensar cualquier exceso o déficit de nutrientes.
- Ser química y biológicamente inerte(14).
- Que tengan coloraciones oscuras.
- Que sean abundantes y fáciles de conseguir.
- Que sea de bajo costo.

Las características del sustrato son un resultado de sus propiedades físicas. Ellas dependen de la estructura de los componentes y están definidas por la relación entre partículas de tamaño pequeño y tamaño relativamente grande, la porosidad, los volúmenes relativos de aire y agua presentes en los poros, por lo que es aconsejable conocer los siguientes parámetros físicos:

Granulometría, densidad aparente, densidad media de las partículas, porosidad total, material sólido, contenido de aire, agua disponible, reserva de agua.

También es importante conocer las características químicas del sustrato en términos de los parámetros siguientes:

Contenido de sales solubles, capacidad de intercambio catiónico y pH. De esta manera es posible definir el retrato de un sustrato ideal, como sigue:

Densidad aparente	0.22 g/cc
Densidad de partícula	1.44 g/cc
Porosidad total	85%
Material sólido	10 - 15%
Contenido de aire	20 - 30%
Agua disponible	20 - 30%
Reserva de agua	06 - 10%
pH	5.5 - 6.5
CEC	10 - 30 meq/100 g secos
Salas solubles	200 ppm (2mmhos)

3. AIREACIÓN DEL SUSTRATO

Por aireación del suelo se entiende el intercambio gaseoso de dióxido de carbono y oxígeno entre el espacio de poros del suelo, sustrato en este caso, y el aire atmosférico. El CO₂ es producido y el oxígeno es consumido en el suelo en el proceso de respiración de las raíces de las plantas y por la actividad microbiana. Por consiguiente la aireación del suelo consiste en el intercambio de oxígeno atmosférico y del dióxido de carbono en la fase gaseosa del suelo(38).

Es difícil separar los efectos de la falta de aireación de los de la impedancia mecánica, puesto que los dos se ven afectados por el aumento de la densidad en masa que resulta de la compactación del suelo. La disminución del alargamiento de las raíces, está relacionado con la aireación. Hay pruebas de que la aireación es un factor de gran importancia en el desarrollo de las raíces. Se ha obtenido una disminución del 65% en el crecimiento de las raíces del maíz cuando una marga de clarión fue compactada para disminuir la porosidad de aireación de 37 a 1%. Se ha demostrado una íntima relación entre el índice de difusión del oxígeno y el crecimiento de matas de maíz en un suelo compactado, y concluyeron que la restricción en el desarrollo de las raíces se debe primordialmente a la deficiencia de aireación(2).

La capacidad de aire de los suelos es afectada por varios factores, siendo los más importantes la porosidad del suelo, el grado de compactación y costras superficiales, la cantidad y tipo de cubierta vegetal, las operaciones de labranza, actividad de los micro y macroorganismos, amasamiento y agrietamiento de los suelos. Existen propuestas sobre los siguientes límites en capacidad de aire para obtener un crecimiento óptimo; pasto del sudán 6-10%, trigo avena 10-15%, cebada o remolachas 15-20% y algodón 30%. También se dedujo que los suelos con capacidad (porcentaje de macroporos) de menos de 10% necesitan tratamiento especial. Suelos con agregados de 1/8 a 1/4 de pulgada de diámetro, mostraron el máximo de capacidad de aire. Investigadores han descubierto que una mejor producción de trigo se obtenía cuando la porosidad no capilar era de un 30-40%, y solo una cuarta parte era producida cuando el porcentaje de la porosidad no capilar era menor de 10%(38).

El intercambio gaseoso tiene lugar en el suelo principalmente por el proceso de difusión, Penman demostró que el índice de difusión gaseosa en los suelos depende especialmente de la cantidad de porosidad libre (fracción del volumen del suelo ocupada por el aire) y desarrolló la siguiente ecuación:

$$D / D_o = 0.66 * S$$

Donde D es el índice de difusión de el suelo, D_o es el índice de difusión de oxígeno en el aire y S es la fracción decimal del espacio gaseoso en el total el suelo (porosidad libre). Debido a la discontinuidad del espacio gaseoso, la difusión tiende a aproximarse a cero a $S = 0.10$. La ecuación de Penman es válida entre los valores de $S = 0.35$ a 0.70 (41).

El espacio total de poros en un suelo es la suma de los volúmenes ocupados por el aire y por el agua, así, a mayor contenido de humedad menor contenido de aire y viceversa. Un concepto muy repetido señala que la distribución de los poros en el suelo debe ser tal que, cerca de la mitad de la porosidad del suelo debe drenar a las tensiones de succión que prevalecen a capacidades de campo, bajo estas condiciones la aireación debe ser buena y el suelo retener aún cantidades sustanciales de agua. Una aireación pobre está comúnmente asociada con condiciones de humedad excesiva, que pueden ser producidas por: una napa alta, un drenaje pobre debido a la presencia de una capa poco permeable, una interfase o una columna corta de suelo (ocurre en las macetas) o una agregación pobre que aumenta la retención de agua y disminuye los índices de infiltración. La composición de la atmósfera del suelo puede ser esencialmente la misma del aire, o bien el anhídrido carbónico puede incrementarse especialmente a expensas del oxígeno. En casos extremos el nivel de oxígeno puede caer hasta cerca de cero. A medida que aumenta la profundidad en el suelo, los niveles de oxígeno tienden a bajar y los de dióxido de carbono a aumentar. Del mismo modo, cuanto más fina es la textura, el oxígeno disminuirá más rápidamente con la profundidad (41).

4. RETENCIÓN DE AGUA DEL SUSTRATO

La retención de agua del sustrato, es la cantidad de agua tomada por unidad de peso de suelo seco cuando está inmerso en agua bajo condiciones estandarizadas (39).

La retención de agua y movimiento del agua por el suelo, requieren ambas de energía. El humedecimiento del suelo está acompañado por una liberación de calor (calor de inhibición), el cual puede ser medido. Por consiguiente, si se remueve agua del suelo, esto requerirá un gasto de energía. Existen dos fuerzas que son responsables de la tensión de humedad de los suelos: a. adhesión o atracción de las moléculas de agua hacia las superficies. y b. cohesión, o sea la atracción de una molécula por otra. Ambas fuerzas son en su mayor parte de naturaleza electrostática. También en conexión con agua del suelo, existen otras fuerzas que influyen, como: la fuerza que emana de las partículas del suelo, la

presión hidrostática, presión atmosférica, presión superficial y la presión osmótica.

Las películas de agua en la interfase sólido-líquido son de un espesor diminuto, las películas de mayor espesor son debidas a la atracción que ejercen las moléculas de agua entre sí. Los poros capilares por consiguiente, tienden a permanecer llenos de agua y ésta se mantiene con una considerable fuerza. En los poros no capilares, el agua próxima a las superficies sólidas que forman el poro, está fuertemente retenida, pero conforme la distancia va aumentando en las partículas del poro, el agua es retenida por menos y menos fuerza (13).

La energía con la cual es retenida el agua en el suelo, tiene una marcada influencia en el crecimiento vegetal. Las plantas deben utilizar energía para absorber el agua y mientras más fuertemente esté retenida el agua en el suelo, mayor debe ser la energía gastada por las plantas para absorberla. Cuando la cantidad de agua en el suelo disminuye, se llega a un punto en el cual el agua restante se retiene con una fuerza mayor que el poder de la planta para removerla (13).

La retención de agua está determinada convenientemente por el experimento de Keen-Raczowski, con el uso de cajas de forma circular, descritas por Coutts(39). Las dimensiones de las cajas utilizadas en el laboratorio difieren ligeramente de aquellas descritas por Coutts. El conocimiento de la capacidad de retención de agua de un suelo es deseable en las técnicas de cultivos en contenedores, ya que esta provee información de los niveles usuales de humedad a los cuales mantener los suelos para un buen crecimiento. Con suelos de textura media en contenedores se obtiene un buen desarrollo de plantas a niveles de humedad correspondientes a 50 - 70% del total de la capacidad de retención de agua del suelo. En un suelo con un buen drenaje, el agua es retenida como películas rodeando las partículas de suelo y en los espacios entre partículas del suelo(39).

La humedad del suelo o de un sustrato se puede expresar gravimétricamente con base en la masa, o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuentemente se expresa como un porcentaje. La masa del suelo secada al horno es la masa del suelo puesta al horno hasta que pierda toda su agua (que no sea químicamente unida) y se mantenga una masa constante, generalmente se logra a 100-110 °C por 24 horas (16).

5. TIPOS DE SUSTRATOS

Entre los sustratos mas comúnmente utilizados con fines comerciales o experimentales se tienen los siguientes:

- a) **Arena:** generalmente reduce la porosidad del medio de crecimiento. La porosidad de la arena es de alrededor de 40% de volumen ocupado. Las partículas de arena deben ser de un diámetro de 0.5 a 2 mm. No contiene nutrientes y no tiene capacidad amortiguadora. El CEC es de 5 a 10 meq/litro. También se utiliza mezclado con materiales orgánicos(14).
- b) **Vermiculita:** tiene una estructura disponible para mantener y drenar grandes cantidades de agua. Es químicamente inerte y tiene una relativamente alta CEC de 80-120 meq/L. Apto para reducir pérdidas de Nitrógeno, Fósforo y Potasio por percolación. Las principales desventajas de este material son: su alto costo y su estructura quebradiza, que puede llevar a una compresión en el sustrato(15).
- c) **Arena volcánica, arcilla:** son materiales usuales para incrementar el contenido de aire en un sustrato, pero tienen menor densidad que la arena. También tiene bajo contenido de nutrientes y su capacidad amortiguadora y CEC son insignificantes(15).
- d) **Perlita:** es una preparación de un silicato Ca-Mg usado para cultivos en contenedores en muchos países(17). Es usado como acondicionador de la estructura del sustrato. En contraste con la vermiculita, es totalmente inerte, tiene una baja CEC o capacidad buffer y poca retención de agua. La perlita provee de espacio para el aire. Tiene un pH neutro, peso ligero, es un buen estabilizador de la temperatura y favorece un crecimiento saludable debido a su alto contenido de aire. Las posibles desventajas incluyen el riesgo de toxicidad en algunas plantas tiernas a un bajo pH, también la limitada capacidad para retener agua bajo condiciones de alta transpiración, resultando en la necesidad de una frecuente irrigación(15).
- e) **Poliestireno expandido:** también es llamado porexpan o duropor. Es un producto sintético, con diámetros de partícula entre 4 y 12 mm, es un material inerte y estable, con pH neutro que mejora la aireación y el drenaje del sustrato. No retiene agua o nutrientes, pero es ideal para plantas que requieren buena aireación de las raíces(15).

Los sustratos pueden ser también de materiales de desecho como la cascarilla de arroz, escoria de carbón, aserrín de madera, etc(14,15). Cuando se coloca la planta en un sustrato con un elemento como los mencionados, pero sin aserrín, se consigue un crecimiento más acelerado de la planta, ello se debe a que la capacidad de oxigenación de la raíz es mayor, ya que es mayor el espacio entre cada una de las partículas del sustrato, pero se tiene el inconveniente de que este sustrato no mantiene la humedad, ni tampoco la solución de nutrientes, una vez realizado el drenaje de la solución, por ello es conveniente mezclarlo con un 50% de aserrín(40). La composición del sustrato varía considerablemente dependiendo de los materiales disponibles, los requerimientos, el tipo de cultivo y la manera en la cual el sustrato será utilizado(14).

Durante las temporadas de 1987 a 1989, un experimento se condujo en un invernadero frío de plástico, para evaluar cinco sustratos en dos sistemas de cultivo hidropónico vertical y verificar sus efectos sobre el crecimiento de las fresas. Los siguientes sustratos fueron evaluados:

- Perlita 100%
- Perlita 90% + Turba 10%
- Perlita 80% + Turba 20%
- Piedra Pómez 80% + Turba 20%
- Piedra Pómez 80% + Perlita 20%

Se aplicó un sistema para reciclar la solución de nutrientes. Los datos obtenidos mostraron que las fresas que crecieron en el sustrato compuesto por perlita 80% + turba 20%, produjeron el mayor rendimiento, siendo este 250 gramos por planta(30)

Otras mezclas de sustratos que han dado muy buenos resultados en cultivos hidropónicos a nivel popular a libre exposición en varios países de Latino América, entre ellos se tiene:

- Cascarilla de arroz 50% + Escoria de carbón 50%
- Cascarilla de arroz 80% + Aserrín 20%
- Cascarilla de arroz 60% + Arena de río 40%
- Cascarilla de arroz 60% + Escoria volcánica 40%
- Cascarilla de arroz 50% + Escoria volcánica 40% + Aserrín de madera 10%.

En estos sistemas el aserrín debe ser sólo una pequeña fracción del sustrato, entre 15 y 20 %, del sustrato que se debe colocar en la cama de cultivo, pues cantidades muy grandes pueden ser perjudiciales para el desarrollo de algunas plantas. Se prefiere que el aserrín no sea de maderas de pino o de coloraciones rojas, ya que estos contienen sustancias que pueden afectar a las raíces de las plantas. Si sólo es posible conseguir de este tipo se lava abundantemente con agua y se deja fermentar algún tiempo (10 días) antes de utilizarlo(15).

D. SOLUCIÓN DE NUTRIENTES

El medio para el desarrollo de las raíces, el sustrato, no contiene ningún elemento nutritivo, por lo cual las plantas no pueden absorber nutrientes para su correcto desarrollo, entonces los alimentos para los cultivos hidropónicos son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio y que también pueden ser preparados por los mismos hidrocultores(32-34).

La calidad nutricional de los productos hidropónicos es óptima y superior a la obtenida en tierra, esto es debido a que las plantas absorben todos los elementos nutritivos que le dan un exquisito sabor y una excelente condición alimenticia, en comparación a los extraídos del suelo(40).

Las soluciones de nutrientes concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas (32-34).

Además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua (Carbono, Hidrógeno y Oxígeno), éstas consumen en diferentes intensidades, elementos como los siguientes: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio, Magnesio, Silicio, Sodio, Cobalto, Hierro, Manganeseo, Cobre, Zinc, Boro, Molibdeno, Cloro y Yodo(32-34). Los nutrientes son los elementos considerados como necesarios para el crecimiento normal de las plantas. De acuerdo a las cantidades requeridas por las plantas, estos se clasifican en:(11,13,44) (ver cuadro 1)

Macronutrientes (primarios o mayores y secundarios)
Micronutrientes

Los *elementos mayores* (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) se denominan así porque normalmente las plantas los necesitan en cantidades tan grandes que la tierra no puede suministrarlos en forma completa. Los *elementos secundarios* (Calcio, Azufre, Magnesio) son consumidos por las plantas en cantidades intermedias pero son muy importantes en la constitución de los organismos vegetales. Los *elementos menores* (Cobre, Boro, Hierro, Manganeseo, Zinc, Molibdeno, Cloro) son consumidos en cantidades muy pequeñas pero son fundamentales para regular la asimilación de los otros elementos nutritivos. Tienen funciones muy importantes ya que si no existieran en la solución de nutrientes, las plantas podrían crecer, pero no llegarían a producir o las cosechas serían de mala calidad (7).

Cuando no existe información disponible y detallada sobre los requerimientos de nutrientes de un cultivo específico, el uso de una tabla de extracción de nutrientes (ver tabla 2) es una buena manera para comenzar y calcular el correcto balance de NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y la cantidad de fertilizante que debe ser aplicado. Dichos valores no necesitan ser modificados debido a una variación de rendimiento, ciertamente, las hojas y las raíces absorben el mismo elemento, pero en una manera diferente (14). Entre las características de los nutrientes se tienen las siguientes:(14)

- La absorción de nutrientes varía durante el ciclo de crecimiento, así como la cantidad y tipo de elementos minerales, por ejemplo, plantas jóvenes tienen un menor requerimiento y usualmente prefieren una mayor relación N/K; después del trasplante, las plantas reaccionan bien al fósforo.

- El clima puede influenciar el equilibrio de nutrientes, por ejemplo, en invierno, con situaciones de poca luz, la relación N/K debería ser menor que en verano, para reducir la etiolización de la planta.
- Generalmente, las plantas necesitan menos nutrientes, para el mismo rendimiento, en invernaderos que al aire libre, ya que hay una menor absorción de nutrientes.
- La absorción de Potasio depende de la temperatura del suelo, no es aconsejable incrementar la cantidad de Potasio cuando el suelo está frío, como en invierno, es mejor incrementar la temperatura antes de plantar. La absorción de nutrientes depende de su concentración, las plantas absorben algunos elementos en exceso si su concentración es muy alta. De este modo si la aplicación de Nitrógeno a la lechuga excede de 200 kg/Ha, el crecimiento no se incrementará proporcionalmente, únicamente su contenido en las hojas, lo cual resultará en algunos problemas nutricionales para la planta.
- Un exceso de nutrientes puede tener efectos perjudiciales tales como fitotoxicidad o crecimiento anormal, por ejemplo, Boro en exceso resulta en la muerte de la planta o Nitrógeno en exceso puede causar un crecimiento exagerado de las hojas a expensas de las flores o los frutos.
- La aplicación de nutrientes debería ser proporcional a la absorción de la planta para evitar antagonismo entre los nutrientes. Los efectos perjudiciales de aplicaciones de altas cantidades de Potasio, en la absorción de Magnesio es bien conocida.
- La aplicación de nutrientes al suelo en proporciones exactas no necesariamente da buenos resultados, porque ellos talvez no sean absorbidos de la misma manera.
- Cuando se utiliza agua salada para la irrigación, su contenido de nutrientes, en ciertas condiciones, es importante desde el punto de vista de la nutrición de la planta. Esto es particularmente cierto si el agua de irrigación tiene un alto contenido de Magnesio, Calcio, Boro, Azufre.

Es difícil plantear reglas generales para la concentración requerida de nutrientes esenciales para cada planta, especialmente para N,P,K ya que estos dependen y varían con la planta, el estado de crecimiento, el tipo de crecimiento requerido (duro o suave), el clima (especialmente la intensidad de la luz y la temperatura), la incidencia de plagas y el tipo de sistema utilizado. De este modo la ventaja básica de la Hidroponia es que la solución puede ser variada rápida y fácilmente para acomodarla a condiciones variadas. Sin embargo alguna guía es propuesta por los datos de los cuadros 3, 4 y 5. El cuadro 3 muestra las concentraciones de nutrientes en soluciones experimentales, mientras que el cuadro 4 las cantidades de químicos requeridos para su preparación. El cuadro 5 da

formulaciones utilizadas para cultivos comerciales, estas muestran considerable similitud(15).

Los métodos utilizados para preparar soluciones de nutrientes variarán obviamente de acuerdo a los requerimientos y facilidades locales. Donde los nutrientes concentrados son requeridos para una instalación hidropónica pequeña, las cantidades apropiadas de fertilizantes son disueltas en tanques plásticos, mezclando lo necesario y permitiendo reposar. El tanque debe ser llenado primero, por lo menos en un 75% del volumen requerido antes de agregar el fertilizante minorizando así el riesgo de alguna precipitación(15).

En cultivos hidropónicos a nivel popular se utilizan dos soluciones concentradas, la A y la B. En la solución concentrada A se aportan a la planta los elementos nutritivos que ellas consumen en mayor cantidad. En la solución concentrada B, se aportan los elementos que son requeridos en menores proporciones, pero esenciales para que la planta pueda desarrollar normalmente los procesos fisiológicos que harán que llegue a crecer bien y a producir abundantes cosechas. Ambas soluciones se combinan en una solución de nutrientes diluida en una proporción A:B de 5:2 y esta solución es la que se aplica a los cultivos hidropónicos populares. Las proporciones a aplicar de esta solución diluida depende del estado de crecimiento de las plantas, si se requiere aplicar solución nutritiva para plantas pequeñas (entre el primero y el décimo día de nacidas) o recién trasplantadas (entre el primero y séptimo día después del trasplante) y en climas cálidos se emplea la concentración media (2.5 cc de nutriente concentrado A y 1 cc de nutriente concentrado B por cada litro de agua). La concentración media se utiliza en períodos de muy alta temperatura y mucho sol, ya que en estas épocas el consumo de agua es mayor que el de nutrientes. Para plantas de mayor edad (después del décimo día de nacidas o del séptimo de trasplantadas) debe usarse la concentración completa(5 cc de A y 2 cc de B en un litro de agua) y para épocas frías y poco sol ya que la planta consume más nutrientes que agua(32-34).

E. CULTIVOS EXPERIMENTALES

Los cultivos que se utilizarán como cultivos de experimentación en este trabajo serán la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) y el rábanito rojo (*Raphanus Sativus*) ya que estos dos cultivos son muy apropiados en las primeras experiencias en cultivos hidropónicos a nivel popular(32-34).

1. LA LECHUGA

La lechuga (*Lactuca Sativa L.*) se encuentra dentro de la familia del girasol o composita e. Existen cuatro tipos principales de lechuga, clasificadas como *L. Sativa L.*, se distinguen fácilmente como:

Arrepollada	Francesa
Orejona	De hoja.

La lechuga es una planta anual que forma una roseta de hojas en la base y subsecuentemente un tallo floral de 0.30 a 1 m de alto. Comercialmente se cosecha antes de la formación del pedúnculo floral. El clima es un factor importante en la producción comercial de la lechuga, porque el rango de adaptación a la temperatura está más restringido que el de otros cultivos vegetales. Las temperaturas medias tienen que estar entre los 13 y los 18 °C, si se sobrepasan estos límites la lechuga tenderá a cerrarse (desarrollándose un tallo floral) mas bien que a formar una cabeza, toma un sabor amargo y prevalece un desorden denominado quemadura del ápice(20).

Generalmente, en los trópicos la semilla de la lechuga se siembra en cajoneras o bancales que se protegen contra aguaceros fuertes. Las plántulas son delicadas y no se recuperan fácilmente al trasplante, a menos que las hojas tengan 5 cm de largo. Las plantas más vigorosas se obtienen en la siembra directa. La lechuga crece en muchas clases de suelos, pero su óptimo desarrollo lo obtiene en un suelo bien drenado, rico y ligero (4).

Si el pH del suelo se encuentra por debajo de 6 existe la posibilidad de que se presenten perturbaciones. La lechuga es muy susceptible a los cambios en el contenido en humedad en las camas para simiente o de las cajas durante el proceso de germinación, y para conseguir una germinación uniforme se debe mantener el terreno uniformemente húmedo, no permitiendo que se llegue a secar la capa superficial (20).

Las distancias entre las cuales se disponen las plantas, varían considerablemente. Los efectos que determinan un aumento en la separación son como sigue:

- Progresivamente, disminuye por hectárea el rendimiento comercial en el mercado.
- Se incrementa el peso medio por lechuga.
- Se acelera la madurez por 3 - 6 días.

La lechuga requiere amplios aportes de agua y estas necesidades van en aumento a medida que el cultivo madura. Lo que se recomienda es un riego ligero y frecuente (45).

Entre las normas de calidad se tiene que las lechugas cultivadas al aire libre deben tener una masa mínima de 150 gramos por pieza(42). Las hojas agrupadas en cabeza compacta o floja alrededor de un centro de formación. Las hojas son ovaladas (lechuga común) o afiladas, largas y rizadas (lechuga romana). El nervio del medio es saliente. El color es verde claro o verde (27,28,37).

En cultivos hidropónicos bajo cubierta, las variedades frágiles como la Noran y la Ostihata pueden desarrollarse en cualquier época, así como cualquier variedad(43).

Para un rendimiento de 4 kg/m² la lechuga remueve 100 Kg de Nitrógeno, 50 kg de P₂O₅ y 250 kg de K₂O por Ha de suelo. La densidad de siembra usual es de 12 a 20 plantas por metro cuadrado.(14)

2. EL RÁBANO

El rábano (*Raphanus Sativus*) es de la familia de las crucíferas. Se cultivan dos subespecies, *R. sativus mayor* (Rábano) y *R. sativus Parvus* (Rabanito). El primero es el más voluminoso y de pulpa más compacta y picante, en cambio el segundo con una raíz que jamás excede los 3 cm de diámetro, se puede cultivar y consumir en cualquier época del año. En las camas calientes se recoge el rabanito a los 30 días de la siembra. La variedad mayor se recoge pasados dos meses de la siembra al aire libre. La producción de rabanitos por área puede alcanzar los 100 kg. El rendimiento de los rábanos puede ser de 150 kg por área(36).

Se recomienda una adecuada iluminación, suelos bien drenados y calientes, con una buena reserva de humedad. Se consiguen los mejores resultados con un suelo neutro o ligeramente alcalino. Los rábanos precisan una buena ventilación y rara vez se calientan las estufas. Se puede conseguir una cosecha rápida si se mantienen a una temperatura situada alrededor de los 12.8 °C y se deberá evitar un calor excesivo (45).

Las características y normas sanitarias a que deben obedecer los rábanos destinados al comercio para consumo son: La raíz es globular o alargada, afilándose hacia la extremidad, mide en promedio 40 mm de diámetro, la pulpa es carnosa y entera. La cáscara es fina y lisa. El color puede ser rojo claro o rojo oscuro, y la pulpa blanca o rosada (37).

IV. JUSTIFICACIONES

El deterioro de la seguridad alimentario nutricional que se ha venido dando en los últimos años en países en desarrollo y especialmente en Guatemala, se manifiesta con mayor intensidad en grupos poblacionales caracterizados por una alta marginación social y económica (26). Un claro ejemplo de estos grupos son las zonas fronterizas y urbano marginales.

El consumo de alimentos de estos grupos, no incluye en general a las hortalizas, las cuales son una rica fuente de vitaminas y minerales. Además, las hortalizas pueden cultivarse en forma intensiva, efectiva y eficiente, el cultivo de hortalizas no solo puede mejorar la disponibilidad y acceso de los alimentos, sino también ser una fuente de ingresos. La hidroponía ofrece una alternativa para el cultivo de estos vegetales.

Con base a experiencias en otros países de Latino América, los *cultivos hidropónicos populares* han demostrado ser una opción clara en el combate a la pobreza, ya que casi cualquier persona, incluyendo mujeres, niños, ancianos y hasta minusválidos, pueden implementar una huerto hidropónico popular, debido a que no necesita un gran esfuerzo físico ni habilidades técnicas o un espacio relativamente grande y principalmente, recursos económicos. Además de producir alimentos que complementarán y mejorarán la calidad de su alimentación, pueden generar ingresos extras con los excedentes que produzcan, que les ayudarán a adquirir otra clase de alimentos y cubrir necesidades no satisfechas.

Dado que los resultados de las investigaciones realizadas a este respecto, han sido adaptados a otros países de Latino América, surge la necesidad de realizar una investigación científica, sobre aspectos de disponibilidad y adaptabilidad de esta tecnología al ámbito socioeconómico de Guatemala para que en el momento de ser implementada no sufra alteraciones en los resultados esperados, haciendo que no sea aceptada una opción que puede coadyubar al progreso de las comunidades marginales mediante una verdadera autogestión comunitaria y una mejor y mayor alimentación de sus pobladores.

V. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

1. Diseñar y evaluar un sistema de producción de hortalizas por hidroponía, que sea viable técnica y económicamente para ser implementado en Guatemala a nivel doméstico.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisar el actual desarrollo de los sistemas de hidroponía.
2. Determinar costos y disponibilidad de materiales, en el mercado local, necesarios para la implementación de la hidroponía a nivel doméstico.
3. Analizar y evaluar física y químicamente los distintos tipos de sustrato posibles de utilizar en Guatemala, con el propósito de hacer recomendaciones sobre los tipos de sustrato que mejores resultados presenten en el desarrollo de los cultivos a analizar.
4. Determinar el tipo de solución de nutrientes y su concentración, para ser utilizado en varios tipos de hortalizas.
5. Determinar los efectos del tipo de sustrato y la concentración de solución de nutrientes, sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos a analizar.
6. Implementar un sistema de producción de hortalizas por hidroponía a nivel doméstico, estableciendo costos de producción.
7. Dejar sentadas las bases para transferir la tecnología adaptada a comunidades piloto situadas en zonas marginales.

VI. HIPÓTESIS

La producción de hortalizas, con el uso de cultivos hidropónicos a nivel doméstico, es viable de implementar técnica y económicamente, en comunidades marginales de Guatemala.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. GENERALIDADES

La selección de las condiciones óptimas de crecimiento de hortalizas se efectuó con base a lo propuesto por Marulanda (10,32,33,34) para países de Latino América, como Chile, Colombia, Costa Rica y Nicaragua, con condiciones climáticas distintas a las de Guatemala, así como las propuestas por las publicaciones de la Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (14,15), respecto a los cultivos hidropónicos en Europa y Africa.

En la investigación se trató de utilizaron algunos materiales de desecho, con el fin de obtener una tecnología sencilla y de bajo costo. El diseño experimental se realizó en cinco etapas.

B. PRIMERA ETAPA: ANÁLISIS DE SUSTRATOS

1. Objetivo:

Determinar tres tipos de sustratos o mezclas de ellos que cumplan con los requerimientos de: disponibilidad en el mercado local, bajo costo, y si es posible ser elementos de desecho y que sus propiedades físicas y químicas sean aptas para el crecimiento de las plantas.

2. Materiales y equipo:

Sustratos: arena de río, piedra pómez, aserrín, olote de maíz, cascarilla de arroz, lana mineral, vermiculita, perlita, pellets de plástico reciclado.

Cajas circulares de latón: se construyeron 16 cajas cilíndricas de latón con orificios en la base de 0.75 mm de diámetro espaciados 4 mm.

Papel filtro: para cubrir el fondo de las cajas de latón, se utilizó papel Whatman No.1

Malla 32: para obtener muestras de sustrato uniformes y ajustadas al método de análisis.

Horno con recirculación forzada: se utilizó un horno marca Thelco para desecar muestras de sustrato.

3. Métodos:

a) **Análisis de disponibilidad y costos de sustratos:** de los tipos de sustrato propuestos en la bibliografía, se realizaron cotizaciones y sondeos para determinar los puntos de venta de cada uno, siendo eliminados, de los posteriores análisis, aquellos que se tenga conocimiento de que sufran una rápida degradación, no exista en el mercado local o tengan un alto costo. Los sustratos a analizar son los siguientes:

- Arena de río
- Piedra Pómez
- Cascarilla de arroz
- Olote de maíz
- Aserrín de maderas blancas
- Lana mineral
- Perlita
- Vermiculita
- Pellets de plástico reciclado

b) **Formulación de sustratos:** para determinar las propiedades físicas de los sustratos se decidió hacer mezclas los tres sustratos escogidos, según lo planteado en publicación de la FAO (14). Para esto se utilizaron dos tipos de mezclas, la primera mezclando dos de los sustratos en distintas proporciones y la segunda mezclando tres de los sustratos en distintas proporciones, ambos tipos de mezcla son porcentajes en volumen y pueden observarse en el cuadro 6. De estos sustratos y sus mezclas se escogieron tres sustratos, basados en sus propiedades de transferencia de masa y capacidad de retención de agua (%WHC), para realizar posteriores análisis.

c) **Calculo de difusividad de oxígeno en el sustrato:** para el cálculo del fenómeno de transferencia de masa que se da entre el sustrato y el oxígeno, se utilizó una correlación empírica propuesta por Marshall(2).

$$D = D_o * (\%Pa/100) ^{3/2}$$

Donde: D = Difusividad de oxígeno en el sustrato, cm² / s.
Do = Difusividad de oxígeno en el aire, cm² / s.
%Pa= Porosidad de aireación. %.

Para calcular la porosidad de aireación, fue necesario realizar los siguientes cálculos y análisis, utilizando los métodos descritos en las referencias.

- Densidad aparente o relación peso volumen:(16,38)

$$Da = Ms / Vr$$

Donde: Da = Densidad aparente del sustrato, g / cc.
 Ms = Masa de muestra seca, g.
 Vr = Volumen del recipiente conteniendo masa seca, cc.

- Densidad de sólidos o gravedad específica del sustrato:(16,38)

$$Ds = Ms / Vd$$

Donde: Ds = Densidad de sólidos, g / cc
 Vd = Volumen de agua desplazada por masa seca, cc.

- Porosidad total:(16,38)

$$\%P = 100 - [(Da / Ds) * 100]$$

Donde: %P = Porosidad total, %

- Humedad gravimétrica del sustrato(base seca): (16,38)

$$\%Hg = [(Mo - Ms) / Ms] * 100$$

Donde: %Hg = Humedad gravimétrica, %.
 Mo = Masa inicial del sustrato, g.

- Humedad volumétrica del sustrato(base seca): (16,38)

$$\%Hv = (Da / Dag) * \%Hg$$

Donde: %Hv = Humedad volumétrica, %.
 Dag = Densidad el agua, g / cc.

- Porosidad de aireación, libre o espacio aéreo:(16,38)

$$\%Pa = \%P - Hv$$

d) **Capacidad de retención de agua del sustrato:** para este análisis se utilizó el método de la caja de Keen - Raczkowski (39). Para ello se saturó de agua una muestra de sustrato molido, de tamiz 0.5 mm de diámetro, durante 12 -16 horas en cajas circulares de latón calibre 20 y luego se determinó el peso saturado, seguido del peso seco de la muestra, obtenido después de haberla introducido en un horno de circulación forzada durante 24 horas a 110 °C. La capacidad de retención de agua (Water holding capacity, WHC) se calculó por la ecuación siguiente:

$$\%WHC = [(b - c - d) / (c - a)] * 100$$

Donde:

- a = masa de la caja sin llenar de muestra, g.
- b = masa de la caja + sustrato saturado, g.
- c = masa de la caja + sustrato secado al horno, g.
- d = retención de agua del papel filtro, g.

Para cada uno de los cálculos de difusividad de oxígeno y retención de agua se realizaron dos repeticiones.

C. SEGUNDA ETAPA: SOLUCIÓN DE NUTRIENTES

1. Objetivo:

Formular una solución que contenga todos los elementos químicos necesarios para el desarrollo de los cultivos producidos por hidroponía, que sea sencillo de hacer o de obtener en el mercado local.

2. Material y equipo:

Sales grado agrícola: 110% hidrosolubles, conteniendo macroelementos, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio y azufre.

Sales grado u.s.p.: contenido de microelementos, Manganeso, Cobre, Cinc, Cobalto, Molibdeno, Boro y Hierro.

Recipientes plásticos: con capacidad de 8 y 20 litros, con tapadera.

Fertilizante Foliar: Hidrosoluble, grado 19 - 19 - 19 + e.m. marca POLYFEED.

3. Métodos:

Para la preparación de la solución de nutrientes se siguió el procedimiento propuesto por Marulanda (10) para la preparación de dos soluciones concentradas, una que contenía los macroelementos, designada como *Solución A*, y otra conteniendo los microelementos, designada como *Solución B*.

Para la aplicación de los nutrientes a las plantas se prepararon dos tipos de solución diluida o *Solución de nutrientes*:

Concentración media, y

Concentración completa.

Estas dos soluciones se prepararon de manera similar, ya que ambas llevan una relación en volumen de 5:2 de las soluciones A y B respectivamente, es decir por cada 5 cc de A se agregan 2 cc de B a un litro de agua potable. En el cuadro 18 se observan las cuatro soluciones que se utilizaron con el fin de comprobar los efectos de la concentración de la solución de nutrientes sobre el desarrollo de las plantas.

Los volúmenes de solución A y B descritos, son los necesarios para preparar un litro de solución de nutrientes, a concentración media y completa.

Estas soluciones, C1, C2, C3 y C4, fueron aplicadas a las plantas que crecían en cada uno de los tres sustratos obtenidos en la etapa 1, para determinar la concentración óptima para el desarrollo de las plantas obtenidas mediante cultivos hidropónicos a nivel doméstico, bajo las condiciones dadas.

D. TERCERA ETAPA: SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPONICO

1 Objetivo:

Experimentar con dos de los sistemas de cultivo hidropónico mas sencillos y que mejores resultados han dado en otros países de América Latina(32,33,34).

2 Materiales y equipo:

Cajas de madera: se utilizaron cajas de madera-cartón en las cuales se empaca la uva de importación y que es desechada o vendida a bajo precio, Q 0.25 cada caja.

- Plástico negro: polietileno de baja densidad calibre 6 milésimas.
- Arena de río: sin cernir, comprada en compañía de venta de materiales de construcción.
- Piedra pómez: sin cernir, comprada en compañía de venta de materiales de construcción.
- Cascarilla de arroz: se vende como material de desecho en los beneficios de arroz, a precios muy bajos, Q 6.60 / qq.
- Manguera de plástico: de 1/4 de pulgada, utilizada como drenaje en las camas de cultivo.
- Plancha de duopor: de 2 * 1 m y 3 cm de espesor.

3. Métodos:

Los sistemas de cultivo hidropónico analizados fueron los siguientes:

Sustrato sólido, y

Raíz flotante.

Para experimentar sobre dichos sistemas, fue necesario realizar algunos tratamientos previos a los materiales, tales como:

- Humedecer la cascarilla de arroz una semana antes de la siembra y lavarla abundantemente con agua el día de siembra.
- Forrar las cajas de madera con el plástico y colocarles el drenaje.(sólo a las de sustrato sólido)

a) **Preparación de almácigos:** La lechuga es un cultivo que es muy débil en las primeras etapas de crecimiento, por lo cual es necesario hacer almácigos. En el estudio se prepararon cuatro almácigos, AC1, AC2, AC3 y AC4 los cuales correspondían a la concentración de solución de nutrientes que se utilizó en cada uno de ellos, es decir el semillero C1 se nutrió con la solución de nutrientes C1. Los almácigos fueron protegidos con papel periódico mientras germinaban, una vez germinadas las semillas se utilizó la concentración media durante 10 días y luego la completa hasta el momento del trasplante.

b) **Sistema de sustrato sólido:** este sistema se analizó con el uso de los tres sustratos obtenidos en la etapa 1, para ellos se utilizaron las cajas fruteras, las cuales fueron aisladas con el plástico, además se le instaló un sistema sencillo de drenaje con la manguera plástica.

La cama de cultivo se llenó con el sustrato a analizar y se niveló. Luego de esto se tomaron las dimensiones de la cama (largo y ancho) y se determinó el número de surcos a trazar, el cual dependía del uso que se le fuera a dar a la cama, semillero o cama de cultivo definitivo, y del tipo de cultivo que se fuera a utilizar, ver cuadros 37,38 y 40. Seguidamente se abrieron los orificios donde se colocarían las semillas o serían trasplantadas las plántulas provenientes del almácigo.

Para la nutrición de las plantas se calculó el área de la cama que las contenía, y con base a al volumen de solución de nutrientes ecomendado por marulanda (32-34) de 3,5 litros por metro cuadrado se tuvo que el volumen a agregar sería de 0.50 litros por cama de cultivo.

c) **Sistema de raíz flotante:** para este sistema las cajas fruteras fueron aisladas con el plástico, pero no se le colocó el sistema de drenaje. Este sistema solo se utilizó para la lechuga. Las plántulas provenientes de los almácigos se colocaron en cubos de esponja de 3 * 3 cm, a los cuales se les hizo un corte transversal, la plántula y el cubo de esponja se colocaron en la plancha de duropor, la cual tenía orificios de 2.54 cm de diámetro. La densidad de lechugas por cama fue de 5 lechugas por cama.

La cama se llenó de agua hasta una altura de 10 cm, luego se calculó el volumen de agua que contenía y mediante la relación de volumen descrita en el cuadro 7 se calculó el volumen de la soluciones A y B necesarios para cada cama.

Dos veces por día y todos los días se realizó un " batido " de la solución en las camas, para redissolver los nutrientes que se sedimentaban y para reoxigenarla.

E. CUARTA ETAPA: EFECTOS DEL SUSTRATO Y LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NUTRIENTES, SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS

1. Objetivos:

Determinar los efectos que tienen la concentración de solución de nutrientes y el tipo de sustrato sobre el rendimiento y calidad de los productos obtenidos mediante el método de cultivos hidropónicos.

2. Materiales y equipo:

Para calcular el rendimiento se utilizaron dos balanzas, una con marca Toledo con capacidad para 10 Kg y una marca Ohaus con capacidad para 300 g.

Para el tamaño de los productos se utilizó una cinta métrica.
Para el color se utilizó el colorímetro marca Lovibond.

3. Métodos:

Se evaluaron los efectos que el tipo de sustrato y la concentración de la solución de nutrientes, tenía sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos obtenidos por hidroponía. Se analizaron cuatro tipos de sustrato y cuatro concentraciones de solución de nutrientes.

Tres de los sustratos analizados fueron escogidos con base a la relación entre la difusividad de oxígeno en el sustrato y la capacidad de retención de agua, y el cuarto sustrato fue el sustrato líquido (solución acuosa de nutrientes).

Las concentraciones de la solución de nutrientes a utilizar, C1, C2, C3 y C4, fueron descritas en la segunda etapa.

Para analizar las posibles interacciones existentes entre los sustratos y las concentraciones de solución de nutrientes se trabajó con los tratamientos A a P, ver cuadro 19. Los cultivos experimentales utilizados fueron el rábanito rojo (*Raphanus Sativus*) y la lechuga (*Lactuca Sativa L.*) variedad Grand Rapids.

Para el rábanito se utilizaron los tratamientos A al L y se hizo por siembra directa, por lo que las semillas se colocaron a una distancia de 8 cm entre surcos y 5 cm entre semillas. Se regó con agua durante cuatro días y luego se regó con la solución de nutrientes a concentración media durante 10 días y luego con la concentración completa hasta los 34 días después de la siembra, en que fueron cosechados y clasificados según el tratamiento y el número de repetición a la que pertenecían.

Para la lechuga se utilizaron los tratamientos A al P, se realizó siembra por trasplante, para lo cual se prepararon cuatro almácigos designados como AC1, AC2, AC3 y AC4. Los almácigos utilizaron un sustrato compuesto por cascarilla de arroz 60% con piedra pómez 40%, ambos porcentajes en volumen. Las distancias de siembra en los semilleros fueron de 5 cm entre surcos y 1 cm entre semillas. Los 5 primeros días se regaron con agua, que fue el momento en que las semillas germinaron, al día siguiente de la germinación se comenzó a regar con la solución de nutrientes con concentración media. A cada almácigo se le aplicó una solución diferente, de este modo, al almácigo AC1 se le aplicó la solución C1, al AC2 la solución C2 y así sucesivamente, después de 15 días se

realizó el trasplante. En ambos sistemas, sustrato sólido y raíz flotante, se tuvo una densidad de 5 plantas por cama de cultivo. A los 60 días de la siembra se cosecharon y se clasificaron.

Los rábanitos y las lechugas se almacenaron en un cuarto frío a 4 °C para mantenerlos frescos hasta que se realizaran los análisis de rendimiento y calidad.

a) **Determinación del rendimiento de los cultivos hidropónicos:** para los cultivos experimentales, rábanito y lechuga, en el momento en que se cosecharon se determinó la masa, de la parte comestible, por unidad de área, con el fin de obtener el rendimiento en Kg/m².

Con base en los rendimientos obtenidos se realizaron graficos del comportamiento del rendimiento en función de la concentración de la solución de nutrientes para cada sustrato, determinándose de esta manera la concentración a la que se daba el máximo rendimiento fisiológico, para las condiciones en las que se dió el estudio. Esto se realizó para los dos cultivos experimentales.

De cada uno de los sustratos se tomó el tratamiento que mejor rendimiento presentó, para realizar los análisis de calidad de los cultivos obtenidos por hidroponia.

b) **Determinación de la calidad de los cultivos hidropónicos:** para determinar la calidad de los cultivos hidropónicos se realizaron análisis físicos y químicos de los mismos y los resultados se compararon con datos tabulados y con los resultados que dieron los productos comprados en un mercado local. Los análisis físicos realizados fueron los siguientes:(12, 27, 28)

tamaño
masa
color y
daños en su estructura

En los análisis químicos se utilizaron los métodos de la A.O.A.C. (1) para determinar la concentración de los siguientes minerales:

Calcio
Magnesio
Fósforo
Sodio
Cloro
Azufre y
Hierro

Los resultados de los análisis químicos fueron comparados con los datos tabulados en las tablas de composición de alimentos de INCAP y de varios países (3,5,24,25,35), así como con los resultados de los análisis químicos de los productos comprados en el mercado local.

F. QUINTA ETAPA: ANÁLISIS ECONÓMICO

1. Objetivo:

Determinar la viabilidad económica de la producción de hortalizas por los métodos de cultivo hidropónico planteados, utilizando para ello la rentabilidad económica.

2. Método:

El éxito de implementar un huerto hidropónico a nivel doméstico depende de la disponibilidad de los materiales necesarios para ello y de la destreza de las personas que lo implementarán para reutilizar materiales de desecho. Con base a esto se realizaron una serie de sondeos y cotizaciones para verificar la disponibilidad y costo de los insumos necesarios para implementar un huerto hidropónico, ver cuadro 31.

Entre los costos se tiene el de los nutrientes para la preparación de las soluciones concentradas, en cuadro 17 se tiene el costo y el punto de venta de estos materiales, de los datos de este cuadro se calculó el costo de las soluciones concentradas A y B, siendo estos de:

Solución A: Q 1.83 / litro

Solución B: Q 4.74 / litro

Con base a las cotizaciones realizadas y a los resultados obtenidos de los sondeos, se realizó un análisis de rentabilidad para el tratamiento que mejor rendimiento y calidad produjo en cada cultivo experimental y para cada sistema de cultivo hidropónico utilizado (sustrato sólido y raíz flotante), ver cuadros 32-35.

G. SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS A NIVEL DOMÉSTICO

A continuación se presenta el sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel doméstico. Para esto se presentará una sistematización de la tecnología con lo que se dejarán sentadas las bases para la preparación de material a este respecto, acorde a las condiciones socioeconómicas de Guatemala.

1. MATERIALES NECESARIOS

- Cuatro cajas de uvas u otras frutas importadas hechas de madera.
- Cuatro yardas de plástico negro calibre(grosor) 6 milésimas.
- Dos sacos de un pie cúbico de arena de río.
- Dos sacos de un pie cúbico de arena blanca o broza.
- Dos sacos de cascarilla de arroz.
- Una onza de semillas de lechuga, grand rapids.
- Una onza de semillas de rábanos, rábanito rojo.
- Soluciones concentradas: A = 200 cc
 B = 80 cc.
- Una plancha de duropor de un metro de largo, un metro de ancho y 3 cm de espesor.
- Una plancha de esponja de un metro de largo, un metro de ancho y 3 cm de espesor.
- Un cuaderno con 80 hojas, tijeras, engrapadora, grapas, dos jeringas de 10 ml (cc), cinta métrica y un marcador indeleble (permanente).

2. RECIPIENTES DE CULTIVO

Los recipientes de cultivo son el lugar en el cual se colocará a la planta, es decir una especie de maceta en la que crecerán los cultivos. El procedimiento para forrar estos recipientes es el siguiente:

- A tres de las cajas, abrir un agujero a cada una, en uno de los extremos, cada agujero debe de ser de 1/4 de pulgada, se abre justo a la mitad y a un centímetro de altura, a la otra caja no se le abre el agujero.
- Medir el largo, el ancho y la altura de la caja con la cinta métrica y anotar estos datos en el cuaderno. Para las cajas de uva de madera y cartón estas medidas son las siguientes:

Largo = 41.5 cm
Ancho = 34.5 cm
Prof. = 13.0 cm

- Calcular la cantidad de plástico para forrar las cajas:

Largo de plástico = Largo de la caja + 3 * altura de la caja = 80 cm
Ancho de plástico = Ancho de la caja + 3 * altura de la caja = 75 cm

- Sobre una superficie limpia, cortar el plástico a la medida encontrada.
- Forrar el interior de las cajas con el plástico.

3. PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

El sustrato es el material en el que se desarrollarán las raíces de la planta y que a su vez sustituirá a la tierra. La forma de preparar el sustrato es la siguiente:

- Colocar la cascarilla de arroz en un recipiente grande de plástico y cubrirla con agua, tapar el recipiente durante ocho días, pasado este tiempo lavar la cascarilla con suficiente agua limpia haciendo por lo menos cinco veces (no usar jabón).
- Colocar la arena blanca en un recipiente grande hacer repetidos hasta que el agua salga de color cristalino.
- De la misma manera que se lavó la arena blanca se lava la arena de río.

- Para preparar el semillero, hacer una mezcla de 3 partes de cascarilla de arroz y 2 partes de arena blanca. la mezcla debe mantenerse húmeda. A una de las cajas con drenaje agregar la mezcla de sustratos hecha, comenzando por el lugar donde está la manguerita.
- Para preparar la cajas cultivo definitivo, hacer una mezcla de 2 partes de cascarilla de arroz, una parte de arena blanca y una parte de arena de río, mezclarlos bien manteniéndolos húmedos. Tomar las otras cajas con drenaje y agregarles la mezcla de sustratos, comenzando por donde se encuentra la manguerita.

4. PREPARACIÓN DE SEMILLEROS

El semillero se usa para aquellas plantas que debido a su debilidad después de nacida, necesita de cuidados especiales en un semillero o almácigo para que después adquirir más fuerza pueda ser trasladada a una cama de cultivo definitivo. Un semillero de lechuga se prepara de la siguiente manera:

- Se toma la caja con el sustrato preparado para semilleros y se humedece nuevamente, luego de esto se nivela con una tablita o cualquier cosa plana, seguidamente se trazan surcos poco profundos a cada 5 centímetros de distancia, entonces se toma un poco de semilla y se colocan una o dos semillas a cada centímetro, entonces se cubren las semillas con una delgada capa de sustrato y se apelmaza suavemente con la mano.
- Después de realizada la siembra se hace un riego muy suave sobre el sustrato, se cubre la caja con una hoja de papel periódico sujetándola de las esquinas con pequeñas piedras, entonces se humedece el periódico con agua por lo menos tres veces al días cuando hay mucho sol, y una vez cuando hay mucha lluvia. Estos riegos se hacen a primera hora en la mañana y si es necesario antes y después de mediodía, de lo que se trata es que el sustrato no se seque por ningún motivo ya que entonces las semillas no germinarán.
- Al cuarto día de haber hecho la siembra destapar el semillero y verificar si ya nacieron las primeras plantitas, de ser así retirar por completo el papel y comenzar los riegos con solución de nutrientes. Si no ha nacido ninguna planta, entonces mantener cubierto el semillero y verificar al día siguiente. Si no se retira el periódico en el momento preciso, entonces las plantitas ya nacidas se estirarán buscando la luz y tomarán la forma de hilos blancos que luego producirán plantas débiles y de mala calidad.

- Al día siguiente de nacidas la plantas se comienza a hacer los riegos con la solución de nutrientes, agregando medio litro de esta solución por día, excepto el séptimo día en el que se agregará un litro de agua pura. Estos riegos al semillero se deben hacer con cuidado para no lastimar las plantas recién nacidas con chorros de agua muy grandes, regar suavemente.

5. TRASPLANTE A LOS SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPÓNICO

Quando las plantas han alcanzado cierta altura deben de ser trasplantadas a una cama de cultivo definitivo. Para hacer esto existen dos sistemas de cultivo muy eficientes y sencillos, el primero es el de **sustrato sólido**, que utiliza una mezcla de sustratos. El otros sistema es el de **raíz flotante**, que utiliza una mezcla de agua y solución de nutrientes en lugar de tierra o sustrato, y en donde la raíz flota dentro de esta mezcla. El trasplante a los sistemas de cultivo se realizan así:

- A los 20 días después de haber nacido las plantas se realiza el trasplante a cualquier de los dos métodos el semillero se riega con bastante agua.

a) Método de sustrato sólido.

- Nivelar el sustrato con tablita plana.
- Marcar cinco puntos en el sustrato.
- Tomar cinco plantitas del semillero una por una, teniendo cuidado de sacar toda la raíz sin lastimarla.
- En un recipiente con agua limpia lavar con mucho cuidado la raíz de la plantita.
- Después del trasplante hacer un riego con medio litro de solución de nutrientes.

b) Método de raíz flotante.

- Tomar una plancha de duropor de 41 cm de largo por 34 cm de ancho y abrir cinco agujeros con un tubo caliente de 1 pulgada.
- En la plancha de esponja dibujar varios cuadritos de 3 por 3 cm y luego con un cuchillo con filo cortarlos con cuidado para que no pierdan la forma. Se toman cinco de estos cubitos y se les hace un corte a la mitad como en el diagrama.
- Se toma la caja sin drenaje y se llena con agua hasta una altura de 13 cm y se le agrega la solución de nutrientes A y B.

- Se toman del semillero cinco plantitas teniendo cuidado que no se lastime la raíz y que salga completa. Lavar la raíz con agua limpia cuidando que no le quede sustrato, procurar no tocar la raíz con la mano.
- Cada una de las plantitas se coloca en el cubito de esponja y se mete en los agujeros hechos a la plancha de duropor.
- El agua dentro de la caja se agita con la mano por lo menos dos veces al día haciendo burbujas.

Para otro tipo de cultivos se realizan los mismos procedimientos, pero con distintas distancias de siembra y en diferentes períodos, consultar cuadros 37, 38 y 40.

6. NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

Como se explicó anteriormente las plantas no están creciendo en la tierra, sino que en un sustrato que no tiene ningún alimento para la planta, por lo que estos alimentos se le dan en forma de soluciones concentradas. La forma de aplicación de esta solución de nutrientes es diferente para los dos sistemas de cultivo hidropónico propuestos anteriormente. Entonces la alimentación de las plantas se hace de la forma siguiente:

- Con la jeringa medir 5 cc de solución A y diluirla en un litro de agua del chorro. Con la otra jeringa medir 2 cc de solución B y agregarla al mismo litro de agua, entonces revolver bien. Esta solución se usa cuando las plantas tienen más de 10 días de nacidas o siete de haberse trasplantado y cuando es época fría.
- Cuando es época caliente, o las plantas tienen menos de 10 días de nacidas o menos de siete de haber sido trasplantadas, entonces la solución de nutrientes se hace midiendo 2.5 cc de la solución A y diluyéndolos en un litro de agua, luego se mide 1 cc de la solución B y se diluye en el mismo litro de agua y se mezclan bien.
- Cuando la solución de nutrientes se aplicará a un sistema de sustrato sólido, entonces esta se aplica con base al área de la cama, es decir entre 2 y 3.5 litros por metro cuadrado. La cantidad menor (2 litros) se aplica en época de lluvia y la cantidad mayor (3.5 litros) cuando hace calor. En el caso de las cajas de uva utilizadas la cantidad se calcula así:

$$\text{Area} = \text{Largo} * \text{Ancho} = 41.5 \text{ cm} * 34.5 \text{ cm} = 1431.75 \text{ cm}^2$$

Esto quiere decir que la cantidad de solución de nutrientes a aplicar es:

En verano: medio litro por caja

En invierno: un cuarto de litro por caja

- Cuando la solución se va a aplicar al sistema de raíz flotante, entonces se debe calcular el volumen de la caja, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad}}{1000} = \frac{41.5 \text{ cm} * 34.5 \text{ cm} * 13 \text{ cm}}{1000} = 18.62 \text{ litros}$$

Sabiendo que el volumen de la caja es de 18.62 litros se tiene que la cantidad a agregar de soluciones A y B son las siguientes:

Solución = 93.00 cc por caja

Solución = 37.20 cc por caja

Estas cantidades de solución de nutrientes se deben aplicar cuando la caja está llena de agua hasta 13 cm de altura.

Es muy importante recordar que las soluciones A y B **NUNCA** se deben mezclar sino es en un volumen de agua, que si se mezclan en forma pura se arruinan lo que causa mucho daño a las plantas en lugar de alimentarlas.

También es de utilidad saber que los volúmenes de las soluciones A y B deben de ser medidos con una jeringa de 10 o de 25 cc (ml) cuando se necesitan volúmenes pequeños. Cuando se requieren medir volúmenes relativamente grandes como para el método de raíz flotante es mejor utilizar un probeta graduada o cualquier recipiente con graduación en centímetros cúbicos o mililitros (ml) ya que se facilita la tarea de medir estas dos soluciones.

La forma en que se preparan las soluciones concentradas A y B no se describió ya que el procedimiento planteado sirve para las primeras experiencias con hidroponía popular, y la preparación de estas soluciones se deja para hidrocultores que ya tienen suficiente experiencia o tienen áreas de cultivos lo suficientemente grandes como para justificar la inversión de estos nutrientes.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos en todas las fases de experimentación y a las referencias sobre los temas, se presenta a continuación un análisis de los mismos.

A. ANALISIS PRELIMINAR

Aunque no se tenía previsto en los objetivos, se realizaron algunas pruebas preliminares para comprobar la efectividad de los sistemas de cultivo hidropónico, para lo cual se utilizaron tres sustratos diferentes, siendo estos: arena de río, piedra pómez y una mezcla 1:1 de ambos. como fuente de nutrientes se utilizó un fertilizante completo grado 19 -19 - 19 + microelementos comúnmente llamado POLYFEED. Al realizar las pruebas se obtuvo un desarrollo normal de la lechuga en las primeras semanas, en las dos últimas semanas se comenzó a observar deficiencias caracterizadas por ennegrecimiento de las orillas de las hojas, así como un amarillamiento de las mismas. Esto se debió a que el polyfeed no contiene dos de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, Calcio y Magnesio, y la deficiencia de los mismos tiene los siguientes efectos: quemaduras en puntas y bordes, pérdida del color verde, las raíces se ramifican y alargan excesivamente, etc (12,32,40,44).

Con base en esto, se concluyó que los sustratos utilizados no influyeron en el desarrollo de los cultivos, sino mas bien la solución de polyfeed, dado que todos los fertilizantes hidrosolubles no continen Calcio y Magnesio debido a que causan incrustaciones en las bombas y boquillas de los sistemas de riego, por lo que se optó por no utilizar ninguno de estos productos comerciales como fuente de nutrientes para las plantas.

Como en Guatemala los cultivos hidropónicos no se han considerado como un sistema de cultivo comercial y no es muy conocido si no es en círculos científicos, no fue posible encontrar algún producto que pudiese satisfacer las necesidades nutricionales de los vegetales cultivados por hidroponia, en el mercado local, y el hecho de importar estos productos significa que tendrían un valor muy alto para los propósitos del estudio en cuestión, entonces se optó por buscar otra fuente de nutrientes la cual será discutida más adelante.

B. ANÁLISIS DE SUSTRATOS

1. Disponibilidad de sustratos:

Como se sabe un sustrato es el material que se utiliza para sustituir las funciones de la tierra en cultivos hidropónicos, por lo que lo único que este hace es proveer un medio de sostén a la planta y conservar la humedad. Existen una infinidad de materiales que se pueden utilizar como sustratos pero no todos cumplen los requisitos necesarios para un proyecto de cultivos hidropónicos a nivel doméstico(32), por lo que fue necesario investigar antes que nada la disponibilidad de materiales que pudiesen ser utilizados como sustratos en Guatemala, que fuesen de bajo costo y fáciles de adquirir. Según los resultados obtenidos en los análisis de disponibilidad y costo, se encontró que tres de los materiales disponibles en Guatemala cumplían con dos de los requisitos necesarios de un buen sustrato(14,32,33,34).

- ARENA DE RÍO: Disponible en mercado local a Q 75 / m³, no es posible conocer su procedencia.

- PIEDRA PÓMEZ: Disponible en el mercado local a Q 70 / m³, no tiene un tamaño de partícula definido.

- CASCARILLA DE ARROZ: Disponible en el mercado local a 6.60 / qq (46 kg).

- OLOTE DE MAIZ: Poca disponibilidad en mercado local, es necesario molerlo, sufre rápida degradación o pudrición.

- ASERRIN DE MADERAS BLANCAS: No hay aserraderos que trabajen exclusivamente con estas maderas, ya que todos trabajan con pino, caoba y cipres, que son resinosas o con coloraciones rojas.

- LANA MINERAL: Poca disponibilidad en mercado local, alto costo.

- PERLITA: No disponible en el mercado local.

- VERMICULITA: Disponible en el mercado local a Q45.00 / ft³.

- PELLETS DE PLASTICO RECICLADO: Disponible en mercado local a \$ 0.45 / kg ó Q2.77 / kg.

Estos tres sustratos son los siguientes:

Arena de río o arena gris

Piedra pómez o arena blanca

Cascarilla de arroz

Dada la facilidad de obtener dichos materiales, las arenas en cualquier venta de materiales de construcción y la cascarilla de arroz se vende en tres beneficios dentro de la ciudad capital, y el bajo costo de los mismos, Q 60 - 70 / metro cúbico de arenas y Q6.60 / quintal de cascarilla de arroz. Se llegó a la conclusión de que estos materiales son apropiados para su utilización en cultivos hidropónicos a nivel doméstico, para verificar las demás características se realizaron varios análisis que se discutirán a continuación.

2. Formulación de sustratos:

Los tres sustratos escogidos fueron designados como:

S1: Arena de río o gris

S2: Piedra pómez o arena blanca

S3: Cascarilla de arroz

En muchas ocasiones la propiedades fisicoquímicas de los sustratos se pueden mejorar bastante si se utilizan en forma combinada dos o más de ellos, por lo que se decidió verificar las posibles interacciones que pudiesen existir entre las propiedades individuales de cada sustrato, para ello se realizaron mezclas en porcentaje en volumen(%v) , en cuadro 6 se pueden ver las distintas formulaciones que se utilizaron las cuales sirvieron para realizar análisis fisicoquímicos de los sustratos formulados. De los resultados obtenidos se escogieron tres con propiedades físicas muy distintas para poder observar directamente los efectos de los sustratos sobre la calidad y rendimientos de los cultivos experimentales.

3. Análisis físicos de sustratos:

Se realizaron dos análisis físicos determinantes en el crecimiento de los vegetales, la difusividad de oxígeno en el sustrato y la capacidad de retención de agua (WHC por sus siglas en inglés).

a) Difusividad de oxígeno en el sustrato:

El análisis de difusividad de oxígeno, designado como DO de aquí en adelante, se realizó basado en las investigaciones de Erickson y Van Doren, en las cuales se encontró que la exposición durante un solo día, a un bajo suministro de oxígeno en la rizosfera puede tener un efecto muy grave en la respuesta de la

planta en ciertas épocas de su ciclo de vida (41). También se sabe que cuando el oxígeno se vuelve limitante en el suelo, el dióxido de carbono se incrementa aproximadamente en la misma medida en que el oxígeno se agota(41). Según los estudios de Leonard y Pinckard, se demostró que cuando el nivel de oxígeno se mantuvo, la concentración de anhídrido carbónico del 15% no afectó la elongación de las raíces de algodón, a un 30 % de concentración se produjo una reducción de 50% (41).

Con base en lo anterior se decidió utilizar en las pruebas de crecimiento un sustrato que tuviese una capacidad de aireación bastante alta. Para caracterizar esta aireación se recurrió a los conceptos de transferencia de masa de gases a través de lechos porosos, ya que se produce un intercambio gaseoso en el sustrato, por lo cual la difusión es el mecanismo más importante para este intercambio. Penman estudió la difusión de los gases en sólidos porosos y concluyó que la reducción de la velocidad de difusión de un vapor a través de un cuerpo poroso comparada con la difusión en el aire atmosférico libre en parte a la limitada sección transversal disponible para el movimiento de las moléculas gaseosas y en parte por la aumentada trayectoria que han de requerir las moléculas por la tortuosidad de los conductos en el sólido poroso (2).

Según la ley de Fick, la difusión está en función de 3 variables, el gradiente de concentración, el coeficiente de difusión del medio y el área de la sección transversal que participa en la difusión la D_0 es $1.25 \text{ cm}^2 / \text{s}$ (2).

El concepto de Penman fue modificado por Marshall para destacar la importancia de la distribución de tamaños de los poros en el proceso de difusión. La relación de Difusión a porosidad se expresa por la ecuación:(2)

$$D / D_0 = S ^ { 3/2}$$

En el análisis de la D_0 en sustratos se utilizó esta ecuación ya que los sustratos no presentan un granulometría muy uniforme. Las diferencias con la ecuación de Penman no son grandes solo cuando S es mayor de 0.7, la franqueza de obstrucción depende mas de la porosidad que de la tortuosidad, cuanto mayor es la porosidad , mayores son la probabilidades de continuidad de los poros(2).

Para el calculo de la Porosidad libre o porosidad de aireación se realizaron cálculos previos de Densidad aparente, densidad de sólidos, porosidad total, humedad gravimétrica, y humedad volumétrica(16). Los resultados de estos análisis se encuentran en el cuadro 7. Con estos datos se calculó el espacio aéreo y la D_0 en el sustrato, ver cuadro 8 y sección de materiales y métodos.

De los datos del cuadro 8 se ve que el sustrato que mejores DO presentó fue el S3 con una $DO = 0.7008 \text{ cm}^2/\text{s}$, lo cual era de esperarse ya que las partículas de cascarilla tienen una porosidad total de 80%. Según los datos teóricos de un sustrato ideal sus propiedades deben ser de una porosidad 85% y una densidad aparente de 0.22 g/cc (14). La cascarilla tiene una densidad aparente de 0.12 g/cc .

Con base a los resultados de DO se escogieron tres sustratos distintos, uno con alta DO, otro con baja DO y otro con una DO intermedia, esto se hizo con la finalidad de comprobar efectos del sustrato sobre calidad y rendimiento de los cultivos obtenidos por hidroponia los sustratos fueron:

S1 : $DO = 0.1817 \text{ cm}^2/\text{s}$

S2 : $DO = 0.7008 \text{ cm}^2/\text{s}$ (ver cuadro 6)

S13 : $Do = 0.5016 \text{ cm}^2/\text{s}$

Se sabe que cuanto mas fina es la textura del sustrato, el oxígeno disminuirá mas rápidamente con la porosidad (41). Como se ve en los resultados de DO la arena de río, S1, tiene partículas muy finas y se comprueba con su difusividad baja, al igual que con su porosidad total, 66.67%, mientras que el sustrato S13, ver formulación en el cuadro 6, presenta una porosidad total relativamente alta, 75 - 77%, y una porosidad de aireación de 73 - 75% con una difusividad media de $0.5016 \text{ cm}^2/\text{s}$.

Además de la difusión del oxígeno en el sustrato, la cantidad de oxígeno puede ser comparada con la cantidad de aire en el sustrato, mediante la porosidad de aire o capacidad de aire que es esencialmente la misma(38). Como se puede observar en el cuadro 7 la porosidad de aireación o cantidad de aire de los sustratos varía de 30 a 80% y según los estudios de Kopecky que propuso los siguientes límites de capacidad de aire para obtener un crecimiento óptimo, se tiene que:(38)

Pasto del Sudán: 6 - 10%

Avena o Trigo: 10 - 15%

Cebada o remolacha: 30%

Con base en esto y a los resultados de las propiedades físicas de los sustratos presentados en el cuadro 7, se observa que los mismos tienen una capacidad de aire aceptable para el cultivo de varias clases de vegetales especialmente hortalizas.

Los tres sustratos presentaron difusividades de oxígeno y porosidad de aireación distintas y como se explicó esto se utilizó como base para uno de los objetivos del estudio y para la realización de los demás análisis. En adelante estos sustratos serán nombrados como sigue:

$$S1' = S1$$

$$S2' = S3$$

$$S3' = S13$$

b) **Retención de agua del sustrato:**

Como se mencionó en los antecedentes el agua juega un papel muy importante en el desarrollo de las plantas, ya que interviene en procesos vitales como, fotosíntesis, formación de carbohidratos, transporte de sustancias, etc. Con relación al sustrato, el agua es esencial para la disolución de sustancias nutritivas y absorción de las mismas. Pero si el agua se encuentra en exceso puede causar una reducción significativa en la porosidad de aireación, como se explicó anteriormente (38). Es por esto que en los sustratos escogidos se realizaron análisis de retención de agua, (WHC), que es la cantidad de agua retenida por unidad de peso de suelo seco cuando está sumergido en agua bajo condiciones estandarizadas (39). La razón para la cual el análisis de WHC se realizó se debe a que los sustratos analizados presentaron una alta porosidad lo que generalmente representa una gran cantidad de drenaje de agua en el sustrato.

Debido a que la solución de nutrientes se realiza a diario, el sustrato debe retener la humedad por lo menos durante 24 horas sin llegar a saturarlo, ya que esto reduciría en forma significativa los espacios de poros disponibles para la aireación e intercambio gaseoso dentro del sustrato (19,44).

Con base a los antecedentes, se realizaron los análisis para verificar que los sustratos tuviesen una WHC mayor de 10% ya que a niveles por debajo de este valor reducen los rendimientos significativamente(2). En el cuadro 9 se presentan los resultados de dichos análisis utilizando el método Keen-Raczowski, para todos los sustratos y sus mezclas, por lo que se puede observar en el cuadro 10 que los tres sustratos escogidos presentan los valores de WHC siguientes:

$$S1' = 12.3\% \pm 0.1362\%$$

$$S2' = 40.2\% \pm 0.4729\%$$

$$S3' = 28.1\% \pm 0.0586\%$$

En el cuadro 10 se muestra que las WHC no presentan diferencia significativa en tre sustratos y que todos presentan valores mayores de 10%, aunque S1' presenta un valor muy cercano a este límite. Se ve que sustrato que mayor WHC presentó fue S12 . Los valores de WHC para S1, S2 y S3 se ajustan muy bien y no muestran diferencias con los valores propuestos en las referencias(32). Las muestras de estos sustratos no se ajustan a lo esperado, ya que se supone que a mayor porosidad, menor será la WHC y viceversa. La razón de esto es que los sustratos utilizados, S1,S2 y S3, además de retener el agua en forma de película, la absorben en los espacios internos de sus partículas, por lo que retienen grandes cantidades de agua por sí solos, tal como S12 que tiene una WHC igual a 59% (14.15).

Los contenedores para el sustrato hidropónico, fueron diseñados con un sencillo, pero funcional sistema de drenaje, que le permite retener suficiente cantidad de agua durante 24 horas y drenar cualquier exceso que pueda causar pudrición en las raíces u otra parte comestible de la planta, así como reducir la cantidad de oxígeno en el sustrato.

Las análisis físicos anteriores representan el diseño de una fracción de las variables que determinan el desarrollo de las plantas, como aireación, humedad y un factor muy importante, que aunque no fue analizado se tienen referencias sobre el tema, la conductividad hidráulica de las raíces en cultivos hidropónicos(19), la cual se facilita a la planta al tenerse un sustrato liviano en el cual la planta no consume energía tratando de penetrar dentro del sustrato. Con base a esto las variables diseñadas aseguran un correcto desarrollo radicular de la planta lo que repercutirá en un buen desarrollo de la parte aérea de la planta como tallo, hojas, flores y frutos.

4. Análisis químico de los sustratos:

Así como son importantes las propiedades físicas de los sustratos, también son muy importantes las propiedades químicas de los mismos, para asegurar que el material utilizado en su formulación, no contenga elementos químicos que puedan interferir con los componentes de la solución de nutrientes causando de esta manera deficiencias nutricionales que puedan afectar significativamente el desarrollo y calidad de los cultivos.(15,32,40) Con base a esto se realizaron varios análisis a los sustratos S1, S2 y S3 de componentes N-P-K (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y de micronutrientes (Mg,Na,Fe,Cu,Mn,Zn). Ver cuadros 11 y 12.

Con base a los resultados de estos análisis y a los datos de referencia de composición química de un suelo en el departamento de Guatemala a tres horizontes diferentes(13), se realizó una comparación de sus composiciones químicas, para Potasio, Calcio y Magnesio, ya que estos tres elementos son controlantes en los procesos fisiológicos de la planta. Como se ve en el cuadro 14, existe diferencia significativa entre la concentración de Ca de la arena de río y la de la piedra pómez, así como entre la de la piedra pómez y el suelo, pero no existe esta diferencia entre la arena de río y el suelo, lo que demostró que la arena de río, a pesar de los lavados que se le hicieron, contiene niveles muy altos de Calcio en comparación con los de la piedra pómez. En el cuadro 15 y 16 se tiene el análisis químico para la concentración de Magnesio(Mg) y Potasio(K) respectivamente. En los mismos se ve que no existe diferencia significativa en las concentraciones de Mg y K para la arena de río y la piedra pómez, pero si existe diferencia entre estos dos sustratos y el suelo tomado como referencia, por lo que se concluye que la concentración de Mg y K es significativamente menor que la del suelo.

Dados los resultados se ve que la concentración de los tres elementos químicos, tomados como referencia, es significativamente menor que en el suelo, exceptuando la concentración de Ca en la arena de río, que siempre presentó valores mas grandes que la piedra pómez. Como ejemplo se tiene que la concentración de K en el suelo fue de 219 ppm, mientras que para los sustratos varía entre 56 y 78 ppm, por lo tanto se puede concluir que los sustratos analizados contienen muy poca cantidad de nutrientes como para afectar significativamente la solución de nutrientes.

Además de la composición química de los sustratos se analizó el pH de la solución de sustrato, en todos los casos el pH fue de 6.5 el cual se clasifica como un suelo ligeramente ácido según Scheffer y Scachtschabel(13) o con acidez débil, según Troug(13). A pH menor de 4 se producen trastornos en el desarrollo de la raíz, a pH mayor que 9 se produce una absorción deficiente de los fosfatos(13).

Como se ve, el pH influye en varios parámetros, entre los que se encuentran la absorción de nutrientes, organismos en el sustrato, estabilidad de los agregados, desarrollo vegetal, etc. Aunque el pH no fue objeto de estudio, si se tuvo cuidado que el pH de los sustratos estuviese en un rango en el cual la mayoría de las plantas tuviese un desarrollo óptimo, siendo este rango de acidez débil(6.5 - 7.5) hasta alcalinidad muy débil (7.0 - 7.5) (13). Con base a lo propuesto en la referencia, se concluyó que los sustratos utilizados presentan una acidez aceptable para el cultivo de varios tipos de vegetales, tales como zanahoria, lechuga, pepino, tomate, cebollas, etc (40).

Dados los resultados obtenidos en el análisis de la composición química y acidez de los sustratos, se concluyó que dichos sustratos son aceptables para ser utilizados como un medio de cultivo hidropónico.

Como se ve tanto los análisis físicos y químicos de los sustratos dieron resultados satisfactorios, por lo que desde el punto de vista fisicoquímico los sustratos cumplen con las propiedades propuestas en las referencias (14,32-34). Concluyéndose que estos sustratos son aptos, física y químicamente, para su utilización como medio de cultivo en la producción de hortalizas por cultivos hidropónicos.

C. SOLUCIÓN DE NUTRIENTES

Uno de los objetivos específicos del estudio es realizar la formulación de un nutriente para hidroponia, que además de ser de fácil adquisición y de bajo costo, tuviese todos los elementos químicos necesarios para el desarrollo de los vegetales.

Como se mencionó, la razón de no utilizar el fertilizante Polyfeed fue la falta de tres de los nutrientes indispensables para los vegetales. Como no fue posible encontrar en Guatemala un producto comercial que cumpliera con los requerimientos antes propuestos, se decidió comprobar la efectividad de la fórmula propuesta Marulanda(10,32). Para lo cual se hizo un sondeo y cotización de los compuestos químicos necesarios para preparar la solución de nutrientes, ver cuadro 17. Estos compuestos químicos son sales de grado agrícola, técnico y reactivo.

Existen 16 elementos químicos, considerados indispensables para el crecimiento saludable de los vegetales, la fórmula utilizada contiene todos estos elementos. Debido a que cada vegetal los consume en diferente proporción, la fórmula fue hecha como un promedio de los requerimientos nutricionales de varios tipos de hortalizas y algunas flores y frutas.

Debido a que la solución de nutrientes se preparó de forma artesanal, no fue posible ubicar a todos los elementos en una sola solución, ya que ciertos elementos se inactivan, perjudicando a la planta, en lugar de nutrirla(32). Por esto se prepararon dos soluciones concentradas con la composición siguiente:

La solución A contenía los siguientes compuestos químicos de grado agrícola:

Fosfato monoamónico, grado 10 - 61 - 0

Nitrato de Calcio

Nitrato de Potasio.

La solución B contenía los siguientes compuestos químicos de grado agrícola y u.s.p:

Sulfato de Magnesio
Nitrato de Magnesio
Sulfato de Manganeso
Sulfato de Cobre
Sulfato de Cinc
Sulfato de Cobalto
Acido Bórico
Molibdato de Amonio
Citrato de Hierro Amoniacal.

Como se ve en la preparación de las soluciones utilizadas, la solución a concentración media se utilizó en ciertas etapas del desarrollo de la planta y esto se debe a que en épocas calurosas o en períodos en los que la planta es muy pequeña, esta absorbe más agua que nutrientes por lo que aplicar una concentración completa, además de ser un desperdicio de los mismos, puede causar acumulación que se traduce en salinización del sustrato, lo cual afecta el desarrollo de la planta.(10) La solución a concentración completa se utilizó en los períodos en los que las plantas absorben nutrientes en grandes cantidades, por ejemplo en invierno, o en las etapas de floración y formación de frutos por lo que cualquier deficiencia de los mismos puede retardar el crecimiento o disminuir el rendimiento y calidad de las plantas. Así como cuando han sido recién trasplantadas ya que la planta comienza a formar nuevas raíces.(10)

En el estudio se prepararon cuatro soluciones con distintas cantidades disueltas de las soluciones A y B, siendo estas: C1, C2, C3 y C4, ver cuadro 18. La finalidad de esto fue determinar cual de estas soluciones producía los mejores rendimientos y la mejor calidad de los cultivos experimentales. Este estudio se realizó en conjunto con el análisis de sustratos, para verificar la existencia de interacciones de los mismos y sus efectos sobre calidad y rendimiento de los cultivos, esto se discutirá posteriormente.

D. SISTEMAS DE CULTIVO HIDROPÓNICO

Como se ve en la sección de antecedentes, existe diversidad de sistemas de cultivo hidropónico, algunos muy sencillos y otros, aunque complicados, muy eficientes. El objetivo principal del estudio es diseñar un sistema sencillo de cultivo hidropónico, con base a esto se utilizaron dos sistemas que han sido ampliamente probados en varios países de América Latina, como Chile, Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Estos sistemas han dado muy buenos resultados debido a su sencilla aplicación en comunidades marginales(10,32-34). Estos dos sistemas son el de sustrato sólido, el cual utiliza un medio sólido para el crecimiento de las raíces, y el otro sistemas es el de raíz flotante en el cual las raíces crecen en una solución acuosa. El procedimiento para su implementación está descrito en la etapa 3 de la sección de materiales y métodos. La sencillez de estos dos sistemas radica en que su funcionamiento e implementación permite el uso de materiales de desecho, como la cascarilla de arroz, y la utilización de pequeños espacios de la vivienda, por lo que se evita el uso de materiales costosos y complicados de utilizar como bombas de recirculación de nutrientes, aireadores, inyectores de nutrientes, controladores de salinidad y pH, como los que se utilizan en sistemas como el NFT (15).

Debido a que se tienen referencias de su implementación y viabilidad en otros países de América Latina, no se incluyó dentro de los objetivos un estudio sobre la sencillez de aplicación por personas que pudiesen ser beneficiadas a este respecto.

E. EFECTOS DEL SUSTRATO Y LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NUTRIENTES SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Para la evaluación del rendimiento y la calidad de los cultivos obtenidos por hidroponía, se utilizaron cuatro tipos de sustrato, arena de río, piedra pómez, cascarilla de arroz y agua. Además se utilizaron cuatro concentraciones de solución de nutrientes, ver cuadro 18. De esta manera se formaron tratamientos, combinando concentraciones y sustratos, por ejemplo, el tratamiento S1C3 significa que se dio el crecimiento de un cultivo sobre el sustrato S1 a la concentración C3. De esta forma se tuvo un total de 16 tratamientos, ver cuadro 19. Con estos tratamientos se verificó la existencia de interacciones de un tipo determinado de sustrato con una concentración de solución de nutrientes dada sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos. Como se mencionó, los dos cultivos utilizados fueron el rabanito rojo, para el cual se utilizaron los tratamientos A al L, y la lechuga, para la cual se verificaron los tratamientos A al P. Los tratamientos M, N, O y P se utilizaron solamente para la lechuga ya que estos incluyen como sustrato al agua y se sabe que el sustrato líquido solo es funcional para tres clases de cultivos, la lechuga, el apio y albahaca.(32)

1. Rendimiento de los cultivos hidropónicos:

El rendimiento en cultivos hidropónicos puede llegar hasta quintuplicarse (40). Con base a esto tiene que las densidades de siembra, en cultivo hidropónico son mayores y como cada planta recibe la misma dosis de nutriente(34), entonces no se da competencia entre plantas por lo que estas, además de estar en mayor cantidad, tienen igual o mayor tamaño que los sembrados en tierra.

a) **Rendimiento del rábanito rojo:** El rábanito rojo (*Raphanus sativus*), rábano de aquí en adelante, tiene un rendimiento promedio de 1.5 kg/m²(36), cuando es sembrado en tierra. En el cuadro 20 se tiene que los rendimientos obtenidos por hidroponía variaron desde 2.57 a 5.75 kg/m², es decir entre 2 y 4 veces mayor que el obtenido en tierra. La densidad de siembra que se utilizó fue de 209 plantas/m² por lo que la masa de las plantas varió entre 12.30 y 27.51 g.

En cuanto a los efectos de los sustratos sobre el rendimiento del rábano, encontró que no existe diferencia significativa en el rendimiento obtenido en los sustratos analizados, ver cuadro 20. Obteniéndose que para el rábano, el sustrato utilizado, de los tres propuestos, no afecta en forma significativa al rendimiento. Esto se debe a que estos sustratos presentan propiedades físicas y químicas muy superiores a las del suelo, y aunque S1', S2' y S3' tienen propiedades muy diferentes, no hubo diferencia significativa en sus efectos sobre el rendimiento del rábano. Por esto se concluye que cualquiera de los tres sustratos propuestos o cualquiera con características similares, es apto para cultivar rábanos por hidroponía.

La concentración de la solución de nutrientes demostró tener efectos significativos sobre el rendimiento del rábano, encontrándose que existe diferencia significativa a cuatro distintas concentraciones. En el cuadro 21 se tiene el rendimiento promedio obtenido y en los gráficos 1 al 3 se muestran el comportamiento del rendimiento en función de la concentración de la solución de nutrientes. Como se sabe los cultivos que son desarrollados con fertilizantes aumentan su rendimiento hasta un punto en el cual el rendimiento comienza a decaer, ya que el vegetal comienza a sufrir intoxicaciones a causa de del exceso de sales minerales presentes en el suelo(22). En la figura 8 se muestra este comportamiento generalizado. Como se ve en los gráficos 1 al 3, el rábano no presentó este comportamiento, sino que, en general, el rendimiento aumentó a medida que la concentración aumentó, para los sustratos S2' y S3'. Mientras que para el sustrato S1' el comportamiento se ajustó relativamente al teórico. Debido a esto no fue posible determinar una concentración óptima de la solución de nutrientes. De las interacciones obtenidas entre tratamientos, cuadro 21, se tiene que el tratamiento que mejor rendimiento produjo fue el L(S3C4), es decir la máxima concentración (8.57 cc A + 3.4 cc B), la cual es mucho mayor que la concentración recomendada en la literatura (5 cc A + 2 cc B). Los datos obtenidos fueron correlacionados, (ver cuadro 21), y como se ve, el único sustrato en el que

se presentó un comportamiento cuadrático fue en S1' o arena gris, lo cual es comprensible si se toma en cuenta la alta concentración de nutrientes contenida, en comparación con la piedra pómez o la cascarilla de arroz, ver cuadro 11 y 12. Con base a esto se concluyó que, debido a que la arena gris contiene nutrientes químicos, estos interfieren con la solución de nutrientes, obteniéndose un rendimiento promedio de 3.25 kg/m² en comparación con los rendimientos de 4.15 y 4.37 kg/m² de S2' y S3' respectivamente.

Por lo tanto se concluyó que para el cultivo del rábano, la concentración de nutrientes propuesta en las referencias(32-34) es insuficiente para obtener un rendimiento fisiológico óptimo. Aunque hay que hacer notar que el rendimiento promedio del rábano obtenido por hidroponia es significativamente mayor que el obtenido en tierra, 1.5 kg/m² (36). Por lo que se toma como aceptable el rendimiento obtenido en el sustrato S3' a concentración C4.

b) Rendimiento de la lechuga: La lechuga (*Lactuca Sativa* L.) variedad grand rapids fue utilizada como el segundo cultivo experimental. La lechuga se produce bajo diferentes condiciones y tiene por ende distintos rendimientos que varían entre 2 y 3.25 kg/m² cuando se siembran en tierra. en el cuadro 22 se tienen los rendimientos obtenidos por hidroponia, pudiéndose ver que van desde 2.32 hasta 6.5 kg/m², es decir que el rendimiento fue, en promedio, duplicado. La densidad de siembra utilizada fue de 31 plantas por metro cuadrado y cada planta tuvo una masa promedio de 92 a 243 gramos.

Al igual que para el rábano, el rendimiento de la lechuga no se vio afectado directamente por el sustrato, debido a que no hubo diferencia significativa entre el rendimiento por sustratos. las razones son las mismas que las expuestas para el caso del rábano.

En cuanto a los efectos de la concentración de la solución de nutrientes sobre el rendimiento de la lechuga, se encontró que existe diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos entre los tratamientos obtenidos a las siguientes concentraciones: C1 y C2, C1 y C3, C1 y C4, C3 y C4. Mientras que no hubo diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos entre C2 y C3, C2 y C4. En los graficos 4 al 7, puede verse el comportamiento del rendimiento de la lechuga en función de la concentración de la solución de nutrientes. Estos graficos se ajustan bien al comportamiento cuadrático propuesto en la figura 8. Los graficos 4, 6 y 7 muestran poca diferencia entre los tratamientos a C2 y C3, lo cual se comprobó estadísticamente(11) al encontrar que no existe diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos por C2 y C3 al igual que para C2 y C4. En el gráfico 5 se observa que no se llegó a un punto máximo como en los demás graficos. Esto se debe a que el gráfico 5 representa el comportamiento obtenido utilizando el sustrato S2' (cascarilla de arroz), la cual tiene una porosidad aproximada de 80%. Por lo que sufre de un rápido drenaje y en consecuencia una rápida pérdida de nutrientes, por lo que no se pudo llegar a un punto óptimo de rendimiento para este sustrato.

Con base a lo anterior y a los resultados obtenidos de rendimiento, (ver cuadro 22), se tiene que el tratamiento que mejores resultados produjo fue el N o S4C3, es decir, lechuga creciendo el sistema de raíz flotante a concentración C3 (6.43 cc A + 2.57 cc B). en lo graficos 4, 6 y 7 se tiene que los puntos óptimos (concentración, rendimiento) son los siguientes:

S1': (8.00, 7.41)
S3': (8.96, 7.00)
S4: (8.00, 8.84)

Por lo tanto la lechuga mostrará un desarrollo óptimo utilizando una solución de nutrientes conteniendo 5.71 cc A + 2.29 cc B, por litro de agua. Como se mencionó anteriormente no hay diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos a C2 y C3 y como la concentración propuesta por Marulanda es de 5 cc A + 2 cc B por litro de agua, se concluye que esta concentración es apta para su utilización en Guatemala durante los meses de Marzo a Junio, para obtener un rendimiento aproximado de 8.7 Kg/m² de lechuga, es decir 31 lechugas con una masa promedio de 280 gramos por lechuga, la cual es una masa unitaria superior a la comercial, ver cuadro 24.

En conclusión, los sistemas de cultivo hidropónico utilizados aumentan significativamente el rendimiento por unidad de área de los cultivos experimentales.

2. Calidad de los cultivos hidropónicos:

La calidad obtenida en cultivos hidropónicos es igual o mejor que la obtenida utilizando la tierra, siempre y cuando se tengan los cuidados necesarios(10).

Con la finalidad de verificar que la calidad obtenida, en los cultivos producidos por hidroponia, fuese por lo menos igual a la obtenida en cultivos en tierra, se realizaron dos tipos de análisis, los físicos y los químicos. Los análisis físicos se realizaron para verificar aspectos como masa, color y daños en la estructura. Los análisis químicos se realizaron para detectar posibles deficiencias o excesos en las concentraciones de algunos elementos químicos propios de los cultivos. A continuación se presentan los resultados y discusión de los mismos.

a) **Análisis físicos:** En lo que se refiere a la masa promedio por rábano o por lechuga, se encontró que los rábanos obtenidos por hidroponia tuvieron una masa promedio entre 14.05 y 36.81 g, mientras los comprados en el mercado local tuvieron una masa promedio de 14.23 g/rábano. Para la lechuga la masa promedio varió entre 92 y 243 g, los comprados en el mercado local variaron entre 170 y 262 g. Como se ve la masa para los rábanos hidropónicos, ver cuadro 24, es mayor que la obtenida por cultivo en tierra, mientras que la masa de la lechuga hidropónica, ver cuadro 25, está dentro del rango de masa de

la obtenida por cultivo en tierra, ver cuadro 26.

En el cuadro 27 se presenta el análisis colorimétrico, realizado con un tintómetro Iovibond(27), de los cultivos hidropónicos y los comprados en el mercado local. Se comprobó que no existe diferencia significativa entre el color de ambas muestras, hidropónicos y comerciales, para los dos cultivos experimentales. En el caso específico de la lechuga se nota un alto contenido de amarillo en comparación con el verde, tanto para cultivos hidropónicos como para cultivos comerciales, esto se debe a que el color de la lechuga es verde pálido lo que se obtiene al mezclar un amarillo fuerte con un azul pálido dando una poca tonalidad de verde y alta tonalidad de amarillo. Para el rábano el color predominante fue el rojo y no hubo desviaciones de color entre ambos tipos de cultivo. Las muestras de cultivos comerciales se tomaron en base a los productos de dos empresas agrícolas distintas, y como no existió diferencia significativa en los valores de las mismas se tomaron como referencia para su comparación con los producidos por hidroponía. Por esto se concluye que en cuanto al color los cultivos hidropónicos no se diferencian de los productos comerciales.

Cuando un producto comercial tiene daños en su estructura, especialmente en la parte comestible, ya sea causada por agentes físicos como el clima, o biológicos como plagas o animales, la calidad del producto decrece significativamente y esto hace que su valor monetario baje también o sea rechazado por el consumidor(27,28).

En el caso del rábano se rechazó parte de la producción debido a su tamaño(pequeño) o a rajaduras en el bulbo, las cuales son causadas por exceso de humedad o madurez, por lo que aproximadamente 25% de la producción fue rechazada. La cantidad de rábano sembrada fue de 30 rábanos por cama de cultivo y los rechazados por caja variaron entre 2 y 16 rábanos, en cuadro 28 se puede ver que no hubo diferencia significativa entre tratamientos en cuanto al número de rábanos sin daños en su estructura.

Para la lechuga los principales causantes de daños en sus estructura lo constituyen el clima(calor o humedad en exceso) y biológicos(pulgones). Como la siembra se realizó en una época relativamente templada (25 - 30 °C), los daños por el factor clima, no fueron observados, tales como quemaduras en las hojas. Las plagas que atacan a la lechuga se colocan en el envés de las hojas succionando los jugos vitales de las nervaduras o causando perforaciones lo que hace que un lote entero de lechuga pueda ser rechazado. Como se ve en el cuadro 28 ninguna de las lechugas de los tratamientos fue rechazada debido a que no hubo un ataque de plagas, ya que las camas de cultivo se encontraban ubicadas en la terraza de un edificio de tres niveles y diariamente se hacían revisiones para verificar la presencia de algún agente extraño, ya que de presentarse alguno este sería retirado manualmente o fumigado con una solución jabonosa(10) no tóxica.

Con base en los resultados obtenidos en la mayoría de los tratamientos, la calidad física, que es la que más influye en la comercialización o aceptación de un producto agrícola, fue igual o mejor que la obtenida en los productos comprados en el mercado local.

b) **Análisis químicos:** La calidad nutricional de los cultivos hidropónicos se verificó mediante análisis de su composición química en minerales, que es lo que más aportan la mayoría de las hortalizas.(12) Los minerales analizados fueron Calcio, Fósforo, Potasio, Magnesio, Sodio, Azufre y Hierro. El análisis se hizo para cada cultivo en el tratamiento que mejor rendimiento produjo, siendo estos el L y el O para rábano y lechuga, respectivamente. Como fuente de referencia se tomaron los datos de las tablas de composición de alimentos de varios países incluyendo la hecha por INCAP para Centro América (3,5,24,25,35), y los datos de composición química de los productos comerciales.

En el caso del rábano, la concentración de minerales, cuadro 29, fue siempre menor que para rábanos comerciales y estos a su vez menor que para las tablas de composición de alimentos. Esto se comprueba con los graficos 1,2 y 3, en los que se ve que los mismos no llegaron a un nivel óptimo de desarrollo, por lo que no pudieron absorber la cantidad necesaria de nutrientes siendo de esta manera de menor calidad nutricional que los de referencia.

Para la lechuga la composición química, cuadro 30, varía para los tres minerales tomados como fuente de análisis. La concentración de Ca en la lechuga hidropónica es mayor que la de las tablas la cual es menor que la de la comercial. La concentración de K de las tablas es 3.4 veces mayor que la de la lechuga comercial que es mayor que la de la lechuga hidropónica. En general la concentración de minerales de las tablas de composición de alimentos, es mayor que la de la lechuga hidropónica, que tiene mayor concentración que la de la lechuga comercial.

Se concluye, entonces, en que la calidad nutricional de los cultivos hidropónicos varía dependiendo del mineral que se está analizando por lo que no es posible determinar si se tiene mejor o igual calidad nutricional, pero si se puede afirmar que en la mayoría de los casos la calidad nutricional de los productos hidropónicos se mantiene en un rango aceptable.

La calidad de los productos hidropónicos es en la mayoría de los casos mejor que la de los productos comerciales, especialmente la calidad física, aunque la calidad nutricional se mantiene en un rango aceptable.



Con base en los resultados y desde el punto de vista de aplicación, se puede afirmar que esta tecnología a pequeña escala es viable técnicamente, ya que no presenta problemas relacionados con el rendimiento o la calidad de los productos obtenidos y en muchos de los casos presenta mejores resultados que los de los productos obtenidos por cultivo en tierra.

F. ANALISIS ECONOMICO

Como ya se ha discutido, el rendimiento por unidad de área de los cultivos hidropónicos aumenta significativamente, esto a su vez hace que el costo por metro cuadrado, de un cultivo, disminuya. (10,31,32,40)

En los cuadros 17 y 31 se presentan los costos de los insumos necesarios para la preparación de las soluciones concentradas A y B, así como los costos de los insumos necesarios para la instalación de un huerto hidropónico doméstico. Con base a estos datos se tiene que el costo de las soluciones de nutrientes A y B son los siguientes:

Costo solución A: Q 1.83 / litro

Costo solución B: Q 4.74 / litro

Según cotizaciones hechas se determinó que una solución de este tipo, formulada en una empresa privada, tendría un costo de Q8.00 / litro para cada solución, lo que demuestra que es mejor que, los interesados en implementar un huerto hidropónico preparen, sus soluciones para tener un costo más bajo.

Los costos de instalación de un huerto hidropónico doméstico son reducidos al utilizar materiales de bajo costo y/o reutilizar materiales de desecho como cascarilla de arroz, recipientes plásticos en desuso o dañados, cajas y pallets de madera, etc. Además se plantearon procedimientos e indicaciones para optimizar el uso de estos insumos, tales como el uso y recirculación de la solución de nutrientes, como forrar de plástico las cajas de madera, etc.

En los cuadros 32, 33 y 34 se tiene un análisis de costos(46) para la lechuga en sustrato sólido y raíz flotante y para rábanos, respectivamente. En el cuadro 35 se pueden observar las utilidades y como la rentabilidad varía entre 70 y 130%, lo cual demuestra que la implementación de un huerto hidropónico doméstico puede ser un negocio bastante rentable (I.R. promedio = 100%) cuando se cuenta con un área mínima de 1 m². En el cuadro 26 se tienen los precios de compra de la lechuga y el rábano comercial y como se puede observar estos son mucho más altos que los costos obtenidos en los dos sistemas de cultivo hidropónico, por lo que los productos hidropónicos pueden competir perfectamente con los productos cultivados en tierra y dejar sustanciales ganancias.

Con base a lo anterior se demuestra que la instalación de un huerto hidropónico doméstico puede generar ingresos extras que ayuden a paliar la situación de pobreza existente en las familias Guatemaltecas, especialmente en zonas caracterizadas por una alta marginación social y económica.

Muchos han sido los esfuerzos para mejorar la calidad de vida de los habitantes de Guatemala, especialmente el de los habitantes de las comunidades urbano marginales y las zonas rurales fronterizas. Entre estos esfuerzos está plan de desarrollo fronterizo integral, denominado *Fronteras solidarias: plataforma para el desarrollo sostenible de la familia Centroamericana* (26), a través del cual se impulsó el proyecto de cultivos hidropónicos populares en el INCAP.

IX. CONCLUSIONES

1. En Guatemala los insumos necesarios para la implementación de un huerto hidropónico a nivel doméstico se encuentran disponibles y son fáciles de adquirir.
2. Los sustratos analizados demostraron tener propiedades físicas y químicas muy superiores a un suelo normal. Sus características se asemejan bastante a las propiedades de un sustrato ideal propuesto en la bibliografía referente al tema de cultivos sin tierra, por lo que su utilización es apropiada para el cultivo de varios tipos de hortalizas.
3. Las soluciones concentradas de nutrientes preparadas, al seguir los lineamientos propuestos en la bibliografía, demostraron que proveen los elementos químicos necesarios para la nutrición vegetal ya que no se presentó ningún tipo de deficiencia nutricional.
4. Al tomar en cuenta el uso de materiales y procedimientos artesanales, los dos sistemas de cultivo hidropónico implementados son más sencillos de aplicar a una comunidad de escasos recursos, que sistemas como el NFT, el cual utiliza equipos y técnicas sofisticadas.
5. El rendimiento de los productos obtenidos por el sistema de hidroponía fue afectado significativamente por la variación en la concentración de nutrientes. El sustrato no presentó efectos significativos en el rendimiento de los productos.
6. La calidad de los productos obtenidos por hidroponía no se vio afectada por el tipo de sustrato utilizado, mientras que la concentración de la solución de nutrientes sí afectó aspectos de calidad como la masa y la composición química de los productos.
7. La rentabilidad económica de los sistemas de cultivo hidropónico demostró que es viable aplicarlos a nivel doméstico ya que presentaron índices de rentabilidad que variaron entre 70 y 130%.

X. RECOMENDACIONES

1. No se deben utilizar fertilizantes foliares para sustituir las soluciones de nutrientes ya que éstos no contienen elementos como Calcio, Magnesio y Boro, lo que causaría serios problemas de deficiencias en el desarrollo de las plantas.
2. En los contenedores para cultivo hidropónico debe tenerse cuidado con la inclinación y el drenaje, en especial en la época de invierno, ya que si estas dos variables no son las correctas se puede tener saturación excesiva del sustrato lo que conlleva a un rápido descenso en la cantidad de oxígeno dentro del sustrato y un rápido drenaje de los nutrientes presentes. Y en verano puede causar un desecamiento acelerado del sustrato lo que causaría un marchitamiento de la planta.
3. La solución de nutrientes puede presentar algunas deficiencias cuando se utiliza en plantas que forman flores y frutos, ya que estas absorben más nutrientes que el promedio de las hortalizas. Por este motivo sería conveniente que se realizaran estudios sobre soluciones de nutrientes para cultivos específicos, especialmente en el área rural.
4. La cascarilla de arroz es un buen sustrato cuando se mezcla con otros sustratos tales como arena de río y piedra pómez. Debido a que es un producto orgánico, con el uso tiende a degradarse y a pudrirse, si se observa esto la cascarilla deberá ser desechada ya que puede causar enfermedades, a la planta, provocadas por hongos.
5. En el método de raíz flotante los cubos de esponja se mantienen húmedos con la solución de nutrientes, y esto provoca la formación de algas en todo el cubo, a pesar de ello el cubo no debe ser removido ya que la raíz de la planta se introduce en él y una remoción del mismo puede causar daños a la estructura de la raíz.
6. Los cultivos hidropónicos representan una alternativa para la producción de alimentos en un futuro cercano debido al ahorro significativo de agua, espacio e insumos. Se recomienda continuar con la investigación sobre la creación de sustratos inertes que puedan ser adquiridos a un bajo costo, mediante la investigación conjunta de ingenieros químicos y agrónomos.
7. Se recomienda el uso de cubiertas plásticas o invernaderos, en lugares en los que las condiciones climáticas (lluvias, calor o frío excesivos) son adversas para la producción de hortalizas. Aunque los costos de la estructura aumentan los costos es preferible a tener grandes pérdidas o la imposibilidad de aplicar cualquier tipo de cultivo.

8. Se recomienda la edición de por lo menos un folleto o manual de cultivos hidropónicos adaptado a las condiciones socioeconómicas de Guatemala con enfoques específicos a maestros de educación primaria, niños y padres de familia, etc. Esto se recomienda ya que actualmente solo se encuentra información bibliográfica hecha para otros países por lo que algunos términos pueden no ser comprendidos por las personas a las que se dirige esta tecnología.



XI. BIBLIOGRAFÍA

1. ASOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. -- **Official methods of analysis of the AOAC.** -- 10 ed. -- Washington, D.C. : The collegiate Press, 1965. -- 957 p.
2. BAVER, L.D., GARDNER, W., GARDNER, G. -- **Física de suelos.** -- México; UTEHA. 1973. -- 529 p.
3. BURLINGAME, B.A...[et al]. -- **The concise New Zealand food composition tables.** -- New Zealand : New Zealand institute for crop and food research Ltd. -- 1993. -- 5 p.
4. CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA DE LA AID. -- **Cultivo de hortalizas en la región del caribe.** -- Puerto Rico : AID, 1967.-- p. 73 - 100.
5. CHAVEZ, M., HERNANDEZ, M., ROLDAN, J. A. -- **Tablas del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México.** -- México, D.F. : Comisión Nacional de Alimentación. Instituto Nacional de la Nutrición, Salvador Zubirah, 1993. -- p. 85 - 89.
6. COULSON, J. M. ... [et al]. -- **Chemical Engineering.** -- 3 ed. -- England : Pergamon Press, -- 1970. -- 2 v.
7. COLOCHO, M. H. -- **Reporte de análisis de sustratos y vegetales.** -- Guatemala : Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Laboratorio de Suelos y Agua, 1996. -- 6 p.
8. CRC. -- "Labeling methodology : hidroponic techniques". -- p. 79-97. -- En: **Critical rev. in food Sci and Nutr.** vol. 23, no. 1 (1990).
9. **Métodos alternativos para el uso de los plaguicidas en actividades agropecuarias.** -- En: **Curso Centro Americano a distancia sobre prevención de Intoxicaciones por plaguicidas.** -- Pedro García, editor. -- Guatemala : INCAP, OPS, OIT, s.a.

10. **Curso sobre Hidroponia Popular.** -- Guatemala : INCAP, 1996. -- 10 p.
11. **DE LA LOMA, J.L.** -- **Experimentación agrícola.** -- 2ª ed. México : Unión Tipográfica Hispanoamericana, 1966. -- 493 p.
12. **DUCKWORTH, R.B.** -- **Fruit and vegetables.** -- Oxford: Pergamon Press, 1966. -- 306 p.
13. **FASSBENDER, H. W.** -- **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina.** -- Costa Rica : Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), 1975. -- 212 p.
14. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.**-- **Protected cultivation in the mediterranean climate.** Rome : 990. -- 313 p. -- (FAO, Plant Production and protection Paper ; no. 90)
15. _____ **Soilles culture for horticultural crop production.** -- Rome : FAO, 1990. -- 188 p. -- (FAO, plant Production and protection Paper ; no. 101)
16. **FORSYTHE, W.** -- **Física de suelos, manual de laboratorio.** Costa Rica : Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia Para el desarrollo internacional (AID), 1975. -- 212 P.
17. **GIBSON, A. H.** -- **Methods for evaluating biological Nitrogen fixation.** -- Bergersen, F. J. editor. -- Canberra, Australia : s.e., 1980. -- p. 140 - 183.
18. **GORMLEY, T. R., Maher, M. J.** "Plant spacing affects tomato yield and size but not fruit quality". -- P. 30. -- **Farm and food Resc.** -- vol.15, no. 1 (1984).
19. **GRAVES, W. R.** -- " Influence of hydroponic culture method on morphology and hydraulic conductivity of roots of honey locust". -- P. 205-211. -- **Heron Publishing.** vol. 11, no. 2. (1992).
20. **HALFACRE, R.G. y BARDEN, J.** **Horticultura.** México. AGT Editor, S.A. [c 1984] p.535 - 539
21. **HERNAEZ, S.** " Agricultura 2001; Cultivos hidropónicos y suelos de plástico". **Muy Interesante.** año VII(11): 38 - 48. 1990
22. **HOWELER, R. H.** -- **Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales, algunos cultivos tropicales.** -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura tropical, 1983. -- 28 p.

23. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. -- **Muestreo de suelos e interpretación de resultados de análisis: Guatemala.** -- Guatemala : ICTA, 1990. -- 49 p.
24. INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. Subdirección de Nutrición, Producción y Distribución de Alimentos. -- **Tabla de composición de alimentos Colombianos.** -- 6ª ed. Colombia : s.e., 1992. -- 53 p.
25. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. -- **Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina.** -- Guatemala : INCAP, 1961. 144 p.
26. _____. **Propuesta Metodológica, Seguridad Alimentario- Nutricional en Procesos de Desarrollo Local en Fronteras Solidarias.** Guatemala : INCAP, 1995. -- p. 14
27. KRAMER, A. -- " Evaluation of quality of fruits and vegetables ". -- P. 9 - 18. -- In: Hoover, S.M. and G. Irving. ed. **Food Quality.** -- Washington, D.C. : A.A.A.S., 1965.
28. _____. TWICC, B. -- **fundamentals of the, Quality control for the food industry.** -- London : Mack Printing company, 1962. -- 512 p.
29. LEES, R. -- **Food Analysis: analytical and quality control methods for food manufacturer and buyer.** -- 3rd. ed. -- London : Leonard Hill Books, 1975. - - 245 p.
30. LINARDAKIS, D. K., MANIOS, V.I. " Hydroponic culture of strawberries in plástic greenhouse in a vertical system " p. 317-326. -- In: **Int. Soc. For, Horticult. Sci.** vol. 287, (May 1991).
31. Maher, M.J. -- " How tomato yields and quality hace increased ". -- p. 331-32. -- In: **Farm and Food Research.** -- vol 21, no.1 (1990).
32. MARULANDA, C. -- **La huerta hidropónica popular, curso audiovisual.** -- Santiago, Chile : FAO/PNUD, 1993. -- 118 p.
33. _____. **Hidroponia popular, cultivos sin tierra, Guía Técnica.** -- Nicaragua : PNUD, INIFOM, s.a.
34. _____. **Hidroponia Popular, cultivos sin tierra, guía práctica.** -- Nicaragua : PNUD, INIFOM, s.e.
35. MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISATENCIA SOCIAL, INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICION. -- **Tabla de composición de alimentos para uso práctico.** -- Caracas, Venezuela : s.e., 1991. 5 p

36. **Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera, práctica de los cultivos.** -- España : Océano/Centrum, 1987. -- Tomo II.
37. **ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. -- Normas Sanitarias de la OPS.** -- Washington, D. C. : OPS, s.a. Tomo II
38. **PERDOMO, R., HAMPTON, H. -- Ciencia y tecnología del suelo.** -- Guatemala : Centro De Producción de Materiales Universidad de San Carlos de Guatemala, 1966. 493 p.
39. **PIPER, C. S. -- Soil and plant analysis, A laboratory manual of methods for the examination of soils and the determination of the inorganic constituents of plants.** -- New york : Interscience Publishers, Inc., 1950. -- 368 p.
40. **SANZ, M. -- Guía práctica de cultivos hidropónicos, Quelatos y Bioestimulantes.** -- Santiago de Chile : Ediciones Minks, 1993. 67 p.
41. **SARASOLA, A., SARASOLA, M. -- Fitopatología, Curso moderno.** -- Argentina : Editorial Hemisferio Sur, 1975. 285 p.
42. **Seminario/Taller Centro Americano sobre legislación alimentaria.** -- Guatemala 12 - 23 de Septiembre de 1988. -- Bajo auspicio del Ministerio de Sanidad y Consumo de España y Comisión Interministerial para la Ordenación Alimentaria, 1988. -- vol. 3.
43. **Taller Regional Centro Americano y consulta sobre planificación de investigación hortícola.** -- Costa Rica, 5 - 8 de Noviembre de 1991. -- Bajo auspicio del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.-- Costa Rica : IICA, 1991. -- 426 p.
44. **THOMPSON, L. M. -- Soils and soil fertility.** -- New York : McGraw-Hill Book, 1952. -- 339 p.
45. **TOOVEY, F. W. -- Producción comercial de hortalizas en invernadero.** -- España : Acribia, 1967 -- 158 P.
46. **URLICH, C.D. -- Procesos de Ingeniería Química.** -- México : McGraw-Hill, 1993. s. p.



A N E X O S



A N E X O 1

C U A D R O S

CUADRO 1

CANTIDADES EN QUE SON REQUERIDOS LOS NUTRIENTES POR LAS PLANTAS

* Indispensables para la vida de los vegetales

Grandes	Intermedias	Muy pequeños
Nitrógeno Fósforo Potasio	Azufre Calcio Magnesio	Hierro Manganeso Cobre Zinc Boro Molibdeno

* Útiles pero no indispensables para su vida

Cloro Silicio Sodio	Innecesarios para las plantas, pero necesarios para los animales que los consumen	Cobalto Yodo
---------------------------	---	-----------------

Fuente: Marulanda(32.33.34)

CUADRO 2

ABSORCIÓN APROXIMADA DE NUTRIENTES PARA VARIOS CULTIVOS PROTEGIDOS. (INVERNADERO)

Cultivo	Rendimiento	Extracción en Kg / Ha de:				
		N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Tomate	80	250	80	500	300	70
Pimiento	40	180	60	180	160	50
Melón	60	230	80	400	300	70
Peñino	200	320	160	600	250	100
Calabaza	40	170	70	390	---	---
Lechuga	40	100	50	250	50	12
Habichuelas	45	150	15	60	30	6
Rosas	80*	150	30	100	---	35
Claveles	150*	1200	300	1100	---	---

Fuente: FAO 90 Protected cultivation in the Mediterranean climate(14)

* Flores por metro cuadrado.

CUADRO 3

CONCENTRACIÓN DE ALGUNOS NUTRIENTES UTILIZADOS EN CULTIVOS
HIDROPÓNICOS EXPERIMENTALES. EXPRESADOS EN mg / litro.

Elemento	Hoagland y* Arnon(1938)	Hewitt (1966)	Steiner (1984)**
Nitrógeno	210.00	168.00	167.00
Fósforo	031.00	41.00	31.00
Potasio	234.00	156.00	277.00
Magnesio	48.00	36.00	49.00
Calcio	160.00	160.00	183.00
Azufre	64.00	48.00	111.00
Hierro	02.50	02.80	01.33
Manganeso	00.50	00.55	00.62
Boro	00.50	00.54	00.44
Cobre	00.02	0.064	00.02
Zinc	00.05	0.065	00.11
Molibdeno	00.01	0.048	0.048

Fuente: FAO 101 Soilless culture for horticultural crop production(15)

* A menudo referida como la solución No. 2 de Hoagland.

** Ejemplo dado por Steiner para una concentración total de 30 mg de iones por litro a pH 6.5 con recomendaciones generalizadas para los micronutrientes.

CUADRO 4

PESOS (g) DE QUÍMICOS REQUERIDOS PARA PREPARAR 1000 LITROS DE ALGUNAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES AMPLIAMENTE UTILIZADAS CON PROPOSITOS DE INVESTIGACIÓN *. LAS CONCENTRACIONES RESULTANTES DE NUTRIENTES SE VEN EN EL CUADRO 3.

Compuesto Químico	Hoagland Arnon(1938)	Hewitt (1966)	Steiner (1984)
KNO ₃	606	404	281
Ca(NO ₃) ₂	656	656	---
Ca(NO ₃) ₂ -4H ₂ O	---	---	1074
MgSO ₄ -7H ₂ O	490	368	498
NH ₄ PO ₄	115	---	---
NaH ₂ PO ₄ -2H ₂ O	---	208	---
KH ₂ PO ₄	---	---	135
K ₂ SO ₄	---	---	251
KOH	---	---	23
FeNa-EDTA	---	21***	10
Fe-EDDHA	40**	---	---
MnSO ₄ -4H ₂ O	---	2.23	2.50
MnCl ₂ -4H ₂ O	1.81	---	---
H ₃ BO ₄	2.86	3.10	2.50
ZnSO ₄ -7H ₂ O	0.22	0.29	0.50
CuSO ₄ -5H ₂ O	0.08	0.25	0.08
H ₂ MoO ₄ -4H ₂ O	0.02	---	---
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ -4H ₂ O	---	0.09	---
Na ₂ MoO ₄ -2H ₂ O	---	---	0.12

Fuente: FAO 101 Soilless culture for horticultural crop production(15)

* También expresado en mg / litro.

** Hoagland y Arnon utilizaron Sulfato Ferroso + Acido Tartárico, 3 veces semanalmente como fuente de hierro. Asher y Evans(1976) subsecuentemente propusieron 40 mg / litro de Fe-EDDHA. Alternativamente, uso de 20 - 25 mg / litro de Fe-EDTA.

*** Hewitt preparó Fe-EDTA a partir de Sulfato Ferroso y EDTA, un proceso envolviendo oxidación. Para propósitos hortícolas, Fe-EDTA comercial es utilizado, calculado como 2.8 * (100 g Quelato/1000 L solución)/%Fe.

CUADRO 5

CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN ALGUNAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES TÍPICAS DE USO COMERCIAL, EXPRESADAS EN mg / litro.

Elementos Químicos	Stoughton (1969)	Mass &* Adamson	NFT	En lana mineral**
Nitrógeno	150	169	150-225	168
Fósforo	35-70	37	30 - 45	47
Potasio	200-70	210	300-500	293
Magnesio	50	49	40 - 50	24
Calcio	300	129	150-300	150
Hierro	5	1.54	3 - 6	0.56
Manganeso	1	1.07	0.5-1.0	0.55
Boro	0.5	0.46	0.3 - 0.4	0.22
Cobre	0.1	0.03	0.1	0.03
Zinc	0.2	0.11	0.1	0.26***
Molibdeno	0.05	0.02	0.05	0.05

Fuente: FAO 101 Soilles culture for horticultural crop production(15)

* Recomendación para tomates en aserrín: formulaciones para otros niveles de Nitrógeno están disponibles.

** De Sonneveld 1989.

*** Subsecuentemente encontrado que está cerca del límite de deficiencia en cultivo en lana mineral: Sonneveld et al.,(1986) Recomendó 0.46 mg Zn/L (7 $\mu\text{mol} / \text{L}$).

CUADRO 6
FORMULACIÓN DE SUSTRATOS

Sustrato	%Arena Gris*	% Piedra pómez*	% Cascarilla* de arroz
S1	100	0	0
S2	0	100	0
S3	0	0	100
S4	25	75	0
S5	50	50	0
S6	75	25	0
S7	25	0	75
S8	50	0	50
S9	75	0	25
S10	0	25	75
S11	0	50	50
S12	0	75	25
S13	25	25	50
S14	25	50	25
S15	50	25	25

* Porcentajes en volumen.

CUADRO 7
ANÁLISIS FÍSICO DE LOS SUSTRATOS

Sustrato	Mo — (g) —	Ms	Vr — (cc) —	Vd	Da — (g/cc) —	Ds	%P	%Hq %	%Hv	%Pa
S1	44.01	43.62	30	20.5	1.45	2.13	31.67	0.893	1.302	30.36
	43.04	42.65	30	19.5	1.42	2.19	35.00	0.902	1.287	33.71
S2	24.20	23.07	30	16.5	0.77	1.39	45.00	4.899	3.779	41.22
	24.09	22.94	30	15.5	0.76	1.48	48.33	5.012	3.844	44.49
S3	03.91	03.58	30	05.5	0.12	0.65	81.67	9.060	1.086	80.58
	03.96	03.62	30	06.5	0.12	0.56	78.33	9.417	1.138	77.19
S4	39.42	37.57	42	19.0	0.89	1.98	54.76	4.925	4.419	50.34
	41.01	39.09	42	21.0	0.93	1.86	50.00	4.914	4.587	45.41
S5	44.99	43.93	41	21.5	1.07	2.04	47.56	2.413	2.593	44.97
	46.55	45.56	41	22.5	1.11	2.02	45.12	2.409	2.687	42.4
S6	50.40	49.56	41	23.0	1.21	2.16	43.90	1.684	2.042	41.86
	50.50	49.54	41	23.0	1.21	2.15	61.25	1.932	2.342	41.56
S7	21.25	20.83	40	15.5	0.52	1.34	63.75	2.034	1.062	60.19
	19.85	19.41	40	14.5	0.49	1.34	63.09	2.275	1.107	62.64
S8	33.16	32.60	42	15.5	0.78	2.10	60.71	1.723	1.341	61.75
	34.01	33.47	42	16.5	0.79	2.03	46.68	1.623	1.297	59.42
S9	43.55	43.14	38	19.5	1.14	2.21	46.68	0.956	1.089	47.59
	44.06	43.63	38	20.5	1.15	2.13	46.05	0.984	1.134	44.92
S10	12.54	11.82	42	10.5	0.28	1.13	75.00	6.119	1.727	73.27
	11.13	10.38	42	09.5	0.25	1.09	77.38	7.141	1.771	75.61
S11	18.61	17.75	42	15.5	0.42	1.15	63.09	4.853	2.057	61.04
	17.46	16.82	42	14.5	0.40	1.16	65.48	5.556	2.231	63.24
S12	27.45	25.37	41	17.0	0.62	1.49	58.54	8.198	5.088	53.45
	24.50	23.06	41	15.0	0.56	1.54	63.41	6.232	3.516	59.90
S13	26.71	25.49	43	15.0	0.59	1.70	65.12	4.781	2.849	62.27
	26.02	25.03	43	14.5	0.58	1.73	66.28	3.922	2.290	63.99
S14	31.81	30.65	42	0.73	17.5	1.75	58.33	3.745	2.743	55.59
	30.78	29.65	42	0.71	16.5	1.80	60.71	3.812	2.700	58.02
S15	38.17	37.40	41	0.91	17.5	2.14	57.32	2.065	1.889	55.43
	39.29	38.51	41	0.94	18.5	2.08	54.88	2.029	1.912	52.97

Donde: Mo=masa inicial. Ms= masa seca. Vr=volumen del recipiente. Vd=volumen desplazado, Da=densidad aparente, Ds=densidad de sólidos. %P=porosidad total. %Hq=humedad gravimétrica, %Hv=humedad volumétrica. %Pa= porosidad de aireación.

CUADRO 8

DIFUSIVIDAD DE OXÍGENO EN LOS SUSTRATOS, Dab

Sustrato	Dab (cm ² /s)		Dab (cm ² /s) promedio
	repetición 1	repetición 2	
S1	0.1677	0.1957	0.1817±0.014*
S2	0.2647	0.2967	0.2807±0.016
S3	0.7234	0.6782	0.7008±0.023
S4	0.3572	0.3060	0.3316±0.026
S5	0.3015	0.2764	0.2889±0.013
S6	0.2708	0.2679	0.2694±0.001
S7	0.4669	0.4958	0.4814±0.014
S8	0.4853	0.4580	0.4716±0.014
S9	0.3284	0.3011	0.3147±0.014
S10	0.6272	0.6575	0.6423±0.015
S11	0.4769	0.5030	0.4299±0.013
S12	0.3908	0.4639	0.4272±0.037
S13	0.4914	0.5119	0.5016±0.010
S14	0.4145	0.4419	0.4282±0.014
S15	0.4127	0.3855	0.3991±0.014

* Media de dos repeticiones ± desviación estándar

CUADRO 9

RESULTADOS RETENCIÓN DE AGUA. MÉTODO DE KEEN RACZKOWSKI

Sustrato	a	b	c
S1	11.6728	66.2205	59.2283
	11.6470	58.4454	52.4091
S2	12.2575	75.3334	51.3423
	11.5061	72.3361	48.9109
S3	11.4128	25.7502	20.8865
	11.4708	25.2790	20.5815
	11.5258	25.3890	20.6520
	12.2645	26.1445	21.3454
S4	12.0662	95.2955	70.7883
	11.3953	102.416	75.3133
S5	11.3942	95.3628	75.2165
	11.8841	93.4018	73.6436
S6	11.2045	96.8396	80.9448
	11.9326	98.5830	83.7380
S7	12.0546	51.7275	43.6768
	11.5077	50.3406	42.4411
S8	11.6823	54.4428	47.3215
	11.6621	53.6154	46.2401
S9	12.2768	68.4127	60.7640
	12.0739	66.9416	58.8028
S10	11.4587	43.0037	31.8300
	11.5342	45.2498	33.4760
S11	12.0677	57.4962	41.0625
	11.4291	53.9769	38.8330
S12	11.3866	71.6208	50.5488
	11.8920	73.6360	52.5734
S13	11.2013	66.5875	53.6337
	11.9436	64.2650	54.2866
S14	11.5809	76.0778	58.7079
	12.3033	78.7087	60.5559
S15	11.5923	71.2458	59.2120
	11.5831	74.2555	61.0444

* a, b y c están dados en gramos. Para la ecuación del método de Keen-Raczowski, d es igual a 1.087 a

CUADRO 10
RETENCIÓN DE AGUA DE LOS SUSTRATOS, %WHC

Sustrato	repetición 1	%WHC* repetición 2	%WHC promedio**
S1	12.4359	12.1635	12.2997±0.1367
S2	58.6236	59.7437	59.1837±0.5599
S3	39.8422	40.5329	40.1875±0.3454
S4	39.8981	40.7155	40.3068±0.4087
S5	29.8769	30.2463	30.0616±0.1847
S6	21.2454	19.1724	20.2089±1.0215
S7	22.0179	22.0517	22.0348±0.0169
S8	16.9562	18.2114	17.5838±0.6276
S9	13.5509	15.1097	14.3303±0.7794
S10	49.5577	48.7455	49.1516±0.4061
S11	52.9596	51.3276	52.1436±0.8160
S12	51.0539	49.1241	50.0890±0.9649
S13	27.9871	28.1043	28.0457±0.0586
S14	34.5697	35.3859	34.9778±0.4081
S15	23.0065	24.5301	23.7683±0.7618

* Porcentaje en peso.

** Media de dos repeticiones ± desviación estándar.

CUADRO 11

ANÁLISIS QUÍMICO DE ARENA DE RÍO Y PIEDRA PÓMEZ

Sustrato	P —— µg/cc	K ——	Ca —— meq/100cc	Mg ——	pH
Arena gris(1)*	49.22	78.00	5.34	1.21	6.5
Arena gris(2)**	45.13	73.00	5.24	1.10	6.5
Piedra pómez(1)	57.15	71.50	2.62	0.37	6.5
Piedra pómez(2)	41.33	56.50	2.06	0.28	6.5

* Lavado normal.

** Lavado intenso.

CUADRO 12

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Elemento químico	Concentración promedio
Nitrógeno (%)	*0.89 ± 0.0094
Fósforo (%)	0.01 ± 0.0047
Potasio (%)	0.07 ± 0.0190
Calcio (%)	0.14 ± 0.0190
Magnesio (%)	0.05 ± 0.0047
Hierro (ppm)	100 ± 4.0800
Cobre (ppm)	3.50 ± 0.2400
Manganeso (ppm)	137 ± 27.180
Zinc (ppm)	20 ± 0.0000

* Media de tres repeticiones ± desviación estándar.

CUADRO 13

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN SUELO EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.

Horizonte	pH	[Ca] mea/100 g	[Mg]	[K] ppm	[P]
I	6.5	7.33	7.83	218.95	2.2
II	6.6	5.63	5.63	328.43	2.0
III	6.2	6.94	2.49	191.58	1.2
IV	6.0	8.64	8.84	136.84	1.0

Tomado de Química de suelos. con énfasis en América Latina. (13)

CUADRO 14

COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CALCIO DE UN SUELO DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA Y LOS SUSTRATOS

Tratamiento	[Ca] (mea / 100 g)	Calificación
Arena de río (1)*	5.34 ± 0.13***	a ****
Arena de río (2)**	5.24 ± 0.27	a
Piedra pómez (1)	2.62 ± 0.27	b
Piedra pómez (2)	2.06 ± 0.27	b
Suelo depto. Guate.	7.14 ± 0.93	c.a

* Lavado normal.

** Lavado intenso.

*** Media de dos repeticiones ± desviación estándar.

**** Tratamientos con letras iguales indican que no existe diferencia significativa. a $p < 0.05$.

CUADRO 15

COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO EN UN SUELO DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA Y LOS SUSTRATOS

Tratamiento	[Mg] (meq / 100 g)	Calificación
Arena aris (1)*	1.205 ± 0.092***	a****
Arena aris (2)**	1.095 ± 0.106	a
Piedra pómez (1)	0.370 ± 0.085	a
Piedra pómez (2)	0.280 ± 0.000	a
Suelo dento. Guate.	6.000 ± 0.749	b

* Lavado normal.

** Lavado intenso.

*** Media de dos repeticiones ± desviación estándar.

**** Tratamientos con letras iguales indican que no existe diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 16

COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN UN SUELO EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA Y LOS SUSTRATOS

Tratamiento	[K] (ppm)	Calificación
Arena aris (1)*	78.00 ± 4.24***	a****
Arena aris (2)**	73.00 ± 1.41	a
Piedra pómez (1)	71.50 ± 3.54	a
Piedra pómez (2)	56.50 ± 9.19	b
Suelo dento. Guate.	219.0 ± 19.35	c

* Lavado normal.

** Lavado intenso.

*** Media de dos repeticiones ± desviación estándar.

**** Tratamientos con letras iguales indican que no existe diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 17

ENUMERACIÓN Y COSTO DE LAS SALES MINERALES NECESARIAS PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NUTRIENTES UTILIZADA EN EL ESTUDIO.

Sal mineral	Costo (Q / saco de x*Kg)
Fosfato Monoamónico (12-61-0)	193.38 / 25
Nitrato de Calcio	95.54 / 46
Nitrato de Potasio (13-0-46)	206.25 / 50
Nitrato de Magnesio (11-0-0-9.5)	191.67 / 25
Sulfato de Magnesio (Sal Epson)	189.56 / 25
Sulfato de Manganeso (usp)	233.64 / 01
Sulfato de Cobre (usp)	35.00 / 01
Sulfato de Zinc (usp)	96.50 / 01
Sulfato de Cobalto (usp)	233.50 / 01
Acido Bórico (usp)	23.36 / 01
Molibdato de Amonio (usp)	
Citrato de Hierro Amoniacal Verde (usp)	150.00 / 01

Cotización actualizada a Octubre de 1996

* Se refiere a la masa en Kg de los sacos de presentación comercial.

CUADRO 18

PROPORCIONES DE LAS SOLUCIONES CONCENTRADAS A Y B UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE NUTRIENTES ANALIZADAS

Concentración (cc / litro)	Conc. Media		Conc. Completa	
	A* — cc / L —	B	A* — cc / L —	B*
C1	1.07	0.43	2.14	0.86
C2	2.14	0.86	4.24	1.71
C3	3.21	1.29	6.43	2.57
C4	4.29	1.71	8.57	3.43

* Volumen en cc de soluciones concentradas A y B necesario para preparar un litro de solución de nutrientes para aplicar en sistemas de sustrato sólido y raíz flotante.

CUADRO 19

DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS SUJETOS A ESTUDIO

Tratamiento	Descripción
A	S1C1*
B	S1C2
C	S1C3
D	S1C4
E	S2C1
F	S2C2
G	S2C3
H	S2C4
I	S3C1
J	S3C2
K	S3C3
L	S3C4
M	S4C1
N	S4C2
O	S4C3
P	S4C4

* Significa que se tiene un sustrato irrigado con solución de nutrientes a una concentración dada.

CUADRO 20
RENDIMIENTO DE RÁBANO OBTENIDO POR HIDROPONIA

Tratamiento	Rendimiento	Calificación
I	2.57 ± 0.25*	a**
F	3.63 ± 0.48	a
J	3.66 ± 0.30	a
F	3.85 ± 0.23	a
A	3.91 ± 0.04	a
G	4.16 ± 0.01	a
C	4.26 ± 0.06	b
D	4.33 ± 0.52	b
B	4.86 ± 0.12	b
H	4.94 ± 1.17	b
K	5.48 ± 0.57	b
L	5.75 ± 0.75	b

* Media de dos repeticiones ± desviación estándar.

** Tratamientos con grupos de letras iguales indican que no existe diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 21

COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO DE RÁBANO EXPERIMENTALES Y DE CORRELACIÓN

Sustrato	Concentración*	Experimentales	Correlación
S1	C1	3.91	4.02
	C2	4.85	4.52
	C3	4.25	4.58
	C4	4.32	4.21
S2	C1	3.63	3.65
	C2	3.85	3.79
	C3	4.16	4.22
	C4	4.94	4.92
S3	C1	2.57	2.46
	C2	3.66	4.00
	C3	5.48	5.14
	C4	5.75	5.86

* Los valores de concentración utilizados, son a concentración completa, ver cuadro 18.

CUADRO 22

RENDIMIENTO DE LECHUGA OBTENIDA EN HIDROPONIA

Tratamiento	Rendimiento (Kg / m ²)	Calificación
E	3.23*	a**
I	3.83	a
M	3.84	a
A	4.18	a
F	4.78	a
D	5.42	a
G	5.77	a
P	5.77	a
H	6.05	a
L	6.20	a
J	6.27	a
K	6.96	a
B	7.05	a
C	7.14	a
N	8.30	a
O	8.49	a

* No hubo repeticiones para el caso de la lechuga.

** Tratamientos con grupos de letras iguales indican que no hubo diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 23

COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO DE LA LECHUGA EXPERI-
MENTALES Y DE CORRELACIÓN

Sustrato	Concentración	Experimentales	Correlación
S1	C1	4.18	4.23
	C2	7.05	6.90
	C3	7.14	7.29
	C4	5.42	5.37
S2	C1	3.23	3.22
	C2	4.78	4.80
	C3	5.77	5.75
	C4	6.05	6.06
S3	C1	3.83	3.84
	C2	6.27	6.22
	C3	6.96	7.00
	C4	6.20	6.18
S4	C1	3.84	3.91
	C2	8.30	8.10
	C3	8.49	8.70
	C4	5.77	5.70

* Los valores utilizados son a concentración completa, ver cuadro 18.

CUADRO 24

MASA UNITARIA DE RÁBANO OBTENIDO POR HIDROPONIA EN CADA REPETICIÓN

Tratamiento	masa de rábanos (g)	
	Caia No.1*	Caia No.2
A	20.14	18.50
B	24.39	23.57
C	20.50	22.33
D	19.55	22.37
E	18.12	18.93
F	20.35	19.79
G	22.00	19.87
H	36.81	27.50
I	14.05	11.79
K	29.03	24.23
L	24.90	29.97

* Cada caia representa una repetición de cada tratamiento.

CUADRO 25

MASA UNITARIA DE LECHUGA OBTENIDA POR HIDROPONIA

Tratamiento	Masa de lechugas (g)				
	Lec. 1	Lec. 2	Lec. 3	Lec. 4	Lec. 5
A	115.45	123.17	120.10	117.63	122.65
B	198.76	205.24	199.48	197.21	209.31
C	200.39	210.47	209.58	199.87	201.66
D	193.83	182.94	195.40	197.06	200.77
E	090.36	095.29	093.32	093.58	089.45
F	129.78	137.42	136.05	134.89	145.86
G	166.33	159.76	335.74	167.29	168.45
H	174.60	177.17	174.98	170.75	173.50
I	110.85	108.46	113.09	107.99	108.61
J	177.62	184.16	175.43	180.13	180.66
K	200.58	198.46	196.21	201.64	199.11
L	175.67	180.91	176.89	177.76	177.27
M	109.00	111.71	108.50	110.84	109.95
N	239.26	236.05	240.63	234.59	238.47
O	240.26	241.08	245.72	243.14	245.80
P	161.44	169.36	157.79	166.21	171.70

* Se obtuvo cinco lechugas por cada cama de cultivo, la que representa un tratamiento.

CUADRO 26

MASA Y COSTO DE RÁBANOS Y LECHUGAS COMPRADOS EN EL MERCADO LOCAL.

Producto	cantidad	Masa / Unidad (q)	Costo / Unidad (Q)
Lechuga	1*	170.00	2.80
Lechuga	1	201.00	2.80
Lechuga	1	262.00	2.75
Lechuga	1	194.00	2.75
promedio		~207.00	~2.78
Rábano	12	360.00	1.50

Cotización hecha en Octubre de 1996

- * La lechuga viene empacada en bolsas de polietileno transparente conteniendo una lechuga por bolsa. Los rábanos vienen empacados en bolsas de polietileno transparente conteniendo una docena de rábanos por bolsa.

CUADRO 27

ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DE RÁBANOS Y LECHUGAS COMERCIALES E HIDROPÓNICAS

Cultivo/Color	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde
Lechuga Comercial	-----	-----	*a 30.63±0.15	b 6.15±0.07
Lechuga Hidropónica	-----	-----	a 25.56±0.51	b 5.10±0.0
Rábano Comercial	c 18.6±2.07	d 1.1±0.14	-----	-----
Rábano Hidropónico	c 18.45±1.50	d 0.9±0.02	-----	-----

- * Valor promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Tratamientos con grupos de letras iguales indican que no hubo diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 28

CANTIDAD DE RÁBANOS Y LECHUGAS HIDROPÓNICOS SIN DAÑOS EN SU ESTRUCTURA.

Tratamiento	Lechuga	Calificación**	Rábano*	Calificación**
A	5	a	24	b
B	5	a	26	b
C	5	a	23	b
D	5	a	23	b
E	5	a	17	b
F	5	a	22	b
G	5	a	27	b
H	5	a	19	b
I	5	a	18	b
J	5	a	20	b
K	5	a	23	b
L	5	a	28	b
M	5	a	---	---
N	5	a	---	---
O	5	a	---	---
P	5	a	---	---

* Media de dos repeticiones.

** Tratamientos con grupos de letras iguales indican que no existe diferencia significativa a $p < 0.05$.

CUADRO 29
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RÁBANO

Fuente	DDM					
	[Ca]	[P]	[K]	[Mg]	[Na]	[Fe]
Tablas *	312.00	280.00	2280.00	160.00	210.00	10.60
Comercial**	157.00	71.50	2111.25	82.50	30.00	2.55
Hidropónico***	123.75	52.90	137.00	44.63	42.00	1.25

* Media de 10 tablas de distintos países incluyendo la de INCAP.

** Media de dos repeticiones.

*** Media de dos repeticiones realizadas al rábano cosechado en el tratamiento L.

CUADRO 30
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHUGA

Fuente	DDM					
	[Ca]	[P]	[K]	[Mg]	[Na]	[Fe]
Tablas *	422.60	320.00	2545.00	110.00	11.50	10.00
Comercial **	150.00	92.65	1515.00	74.63	18.45	1.70
Hidropónico ***	480.00	91.10	2175.00	161.25	10.00	4.20

* Media de 10 tablas de distintos países incluyendo la de INCAP.

** Media de dos repeticiones.

*** Media de dos repeticiones realizadas a la lechuga cosechada en el tratamiento O.

CUADRO 31

INSUMOS NECESARIOS PARA IMPLEMENTAR UN HUERTO HIDROPÓNICO,
COSTOS Y PUNTO DE VENTA

Insumo	Punto de venta	Costo (Q) *
Cajas fruteras	Almacén Paíz Montúfar	00.25 / caja
Plástico negro	Heleno Plast	06.36 / m ²
Piedra pómez	Fabrica de pisos Roosevelt	70.00 / m ³
Arena gris	"	75.00 / m ³
Flete de arenas	"	30.00 / flete
Cascarilla de arroz	Beneficio de arroz San Luis, S.A.	6.60 / qq
Semillas	Superb Agrícola	Variable
Duropor (1.22*2.44*3)	Disame Ltda.	68.24 / plancha
Esonia (1.42*1*3)	Metroconfort	27.96 / plancha
Nutrientes	INCAP	ver cuadro 17

* Costos actualizados a Octubre de 1996.

CUADRO 32

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS, PARA LECHUGA
OBTENIDA POR EL MÉTODO DE SUSTRATO SÓLIDO.

Componentes de los costos	Amortización (# de cosechas)	Costo (Q/m ²)	Costo/cosecha (Q/m ²) *
COSTOS FIJOS			
Caja fútera(8)	10	2.00	0.20
Plástico negro	5	8.00	1.60
Sustrato(2 sacos)	6	8.00	1.33
Regadera plástico(1)	10	5.00	0.50
Recipientes plásticos (2)	10	15.00	1.50
Atomizador plástico (1)	10	5.00	0.50
Mano de obra	10	12.30	1.23
SURTOTAL COSTOS FIJOS			6.86
COSTOS VARIABLES			
Nutrientes hidropónicos	1	2.90	2.90
31 plántas de almácigo	1	4.20	4.20
Mano de obra	1	10.40	1.23
SURTOTAL COSTOS VARIABLES			
Imprevistos (10 %)			2.44
COSTO TOTAL POR COSECHA			
26.80			
COSTO POR UNIDAD			0.86/LEC

* El costo es para una cosecha de lechuga equivalente a un área de un metro cuadrado.

CUADRO 33

**COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS, PARA LECHUGA
OBTENIDA POR EL MÉTODO DE RAÍZ FLOTANTE**

Componentes de los costos	Amortización (# de cosechas)	Costo (Q/m²)	Costo / cosecha * (Q/m²)
COSTOS FIJOS			
Cajas fruteras(8)	10	02.00	00.20
Plástico negro	5	08.00	01.60
Durobor**	5	32.00	06.40
Regadera plástica(1)	10	05.00	00.50
Recipientes plásticos(2)	10	15.00	01.50
Atomizador plástico(1)	10	05.00	00.50
Mano de obra	10	12.30	01.23
SUBTOTAL COSTOS FIJOS			11.93
COSTOS VARIABLES			
Nutrientes hidropónicos	1	01.65	01.65
31 plantas de almácigo	1	04.20	04.20
Mano de obra	1	10.40	10.40
SUBTOTAL COSTOS VARIABLES			16.25
Imprevistos (10 %)			02.82
COSTO TOTAL POR COSECHA			31.00
COSTO / UNIDAD			1.00

* El costo es para una cosecha de lechugas equivalente a un metro cuadrado.

** El duronor también es conocido como Pumavit, Estereofon o Porex pan.

CUADRO 34

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS, PARA RÁBANO
OBTENIDO POR EL MÉTODO DE SUSTRATO SÓLIDO

Componentes de los costos	Amortización (# de cosechas)	costo (Q/m ²)	Costo / cosecha * (Q/ m ²)
COSTOS FIJOS			
Caja frutera (8)	20	02.00	00.20
Plástico negro	10	08.00	01.60
Sustrato (2)	10	08.00	00.80
Redadera plástica (1)	20	05.00	00.25
Recinientes plásticos (2)	20	15.00	00.75
Atomizador plástico (1)	20	05.00	00.25
Mano de obra	20	12.30	00.62
SURTOTAL COSTOS FIJOS			03.57
COSTOS VARIABLES			
Nutrientes hidropónicos	1	02.90	02.90
Semillas	12	06.50/onz	00.54
Mano de obra	1	10.40	10.40
SURTOTAL COSTOS VARIABLES			13.84
Imprevistos (10 %)			01.74
COSTO TOAL POR COSECHA			19.15
COSTO / DOCENA			00.83

* El costo es para una cosecha de rábano equivalente a un área de un metro cuadrado.

CUADRO 35

RENTABILIDAD ECONÓMICA (IR %) DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS. PARA
RÁBANO Y LECHUGA EN LOS DOS MÉTODOS DE CULTIVO, SUSTRATO
SÓLIDO Y RAÍZ FLOTANTE

Cultivo/método	Costo/cosecha (Q / m ² - cosec.)	Ventas/cosecha (Q / m ² - cosec.)	Utilidad (Q/m ² -cosec.)	IR %
Lechuga / S.S*	26.80	62.00	35.20	131
Lechuga / R.F**	31.00	62.00	31.00	100
Rábano / S.S	23.06	39.66	16.60	72

* Obtenido por el método de sustrato sólido.

** Obtenido por el método de raíz flotante.

PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD BEN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CUADRO 36

ESPECIES DE SIEMBRA DIRECTA EN HUERTOS HIDROPÓNICOS POPULARES
(HHP):
PERÍODOS TRANSCURRIDOS ENTRE FASES Y PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

ESPECIE	PERÍODO TRANSCURRIDO DESDE		
	Siembra a germinación (días)	Germinación a cosecha (días)	Profundidad de siembra (cm)
Ajo *	8	120	2
Arveja	5	90	3
Calabacín o zapallito italiano	7	90	3
Cebolla de rama *	15	110 ***	-
Cilantro	17	60	2
Fresa o frutilla *	15	90	-
Haba	8	100	4
Habichuela o poroto verde	5	70	3
Frijol o poroto seco	5	100	3
Melón	6	90	3
Nabo de cuello morado**	5	80	1
Penino de ensalada	5	70	3
Rabanito rojo	4	30	2
Remolacha o betarrada**	10	120	3
Sandía o patilla	8	90	4
Zanahoria	18	120	c.s
Zapallo común	7	120	4

Fuente: Marulanda. La huerta hidropónica popular (32)

* Su multiplicación es vegetativa o asexual.

** Estas especies se pueden sembrar directamente y también se pueden trasplantar.

*** Después de la primera cosecha se hacen recolecciones permanentes cada 60 días. al menos durante 18 meses y si el manejo es adecuado pueden permanecer produciendo durante tres años. La profundidad de la siembra depende del tamaño al cual se corten las ramas utilizadas para la siembra.

CUADRO 37

ESPECIES QUE SE SIEMBRAN POR
EL SISTEMA DE TRASPLANTE EN HHP:

NUMERO DE SEMILLAS POR GRAMO. DISTANCIAS Y PROFUNDIDAD DE
SIEMBRA EN EL SEMILLERO

ESPECIE	SEMILLAS por g.	DISTANCIA		PROFUNDIDAD (cm)
		Entre Surcos	Entre Semillas	
Acelga	53	8	1	1,5
Anio	2.500	5	0,5	c.s
Berenjena	350	8	1	1
Remolacha o betarraga	50	8	1	1
Brócoli	280	10	1	1
Cebolla	250	5	0,5	1
Cebollín	250	5	0,5	1
Ciboulet	300	5	0,5	0,5
Col China	280	8	2	1
Coliflor	280	10	1	1
Espinaca	100	5	2	1
Lechuga	1.086	5	1	0,5
Lulo o Naranjilla	500	10	1	0,5
Nabo blanco	320	8	2	1
Perejil	160	5	0,5	0,5
Pimentón	250	8	1	1
Puerro	290	5	0,5	1
Repollo	320	10	1	1
Tomate	?	8	1	1
Tomillo		5	1	0,5

fuentes: Marulanda. La huerta hidropónica popular (32)

c.s. Casi superficial.

** El número de semillas varía según su calidad (variedades o híbridos y el porcentaje de impurezas que vengan en el empaque).

CUADRO 38

ESPECIES QUE SE SIEMBRAN POR
EL SISTEMA DE TRASPLANTE EN HHP:

PERÍODOS TRANSCURRIDOS
ENTRE FASES

ESPECIE	PERÍODO TRANSCURRIDO DESDE		
	Siembra a germinación (días)	Germinación a Trasplante (días)	Trasplante a cosecha (días)
Acelga	12	18-25	70 c.p.
Apio	20	30-35	95
Berenjena	10	20-25	75
Betarraga o remolacha	10	20-25	85
Brócoli	7	20-22	75
Cebolla	10	30-35	80
Cebollín	10	30-35	55
Cihouillet	10	30-35	70 c.p.
Col China	6	18-20	60
Coliflor	7	20-25	75
Espinaca	8	18-22	75
Lechuga flotante	5	15-18	45
Lechuga en sustrato	5	20-22	55
Lulo o Naranjilla	30	45-50	80
Naho blanco	5	15-18*	45
Perejil	15	22-25	75
Pimentón	15	22-25	70
Puerro	12	35-40	80
Puerro	10	35-40	80
Renollo	7	30-35	90
Tomate	6	18-22	65
Tomillo	12	30-35	75 c.p.

Fuente: Marulanda, La huerta hidropónica popular (32)

* Cuando se trata del sistema flotante, éste es el tiempo para hacer el primer trasplante; el segundo se realiza entre 12 y 18 días después del primero.

** Este tiempo varía según el clima predominante durante el desarrollo del almácigo y también depende del adecuado manejo (riesgo, nutrición, escardas, aporques, etc.).

c.p. Cosecha permanente formando manoios con las hojas que alcanzan el desarrollo apropiado (cada 2 ó 3 semanas).

CUADRO 39

ESPECIES DE SIEMBRA DIRECTA EN HHP:

DISTANCIAS DE SIEMBRA RECOMENDADAS

ESPECIE	DISTANCIA (cm)		POBLACIÓN Plantas por m ²
	Entre Surcos	Entre Plantas	
Ajo *	10	7	115
Arveja	12	10	67
Cebolla de rama *	30	30	11
Cilantro	10	5	162
Fresa o frutilla *	25	25	13
Haba	20	15	27
Habichuela o frijol o poroto verde	15	15	36
Frijol o poroto seco	15	15	36
Melón	30	30	11
Nabo de cuello morado**	10	10	81
Penino de ensalada	30	30	11
Rabanito rojo	8	5	202
Remolacha o betarraga**	15	10	54
Sandía o patilla	40	40	5
Zanahoria	8	10	102
Zanallo italiano	50	40	4
Zanallo común	50	40	4

Fuente: Marulanda. La huerta hidropónica popular (32)

* Estas especies se reproducen vegetativamente.

** Estas especies se pueden sembrar directamente en el sitio definitivo, pero también por el sistema de trasplante.

Nota: En algunas especies es posible hacer siembra en triángulo, lo cual permite tener algunas plantas más en el mismo espacio sin que se afecte su desarrollo, porque en esta forma hay una mejor distribución del espacio para el desarrollo de las raíces.

CUADRO 40

ESPECIES QUE SE SIEMBRAN POR
EL SISTEMA DE TRASPLANTE EN HHP:

DISTANCIAS RECOMENDADAS

ESPECIE	DISTANCIAS (cm)		POBLACIÓN Plantas por m ²
	Entre	Entre	
	surcos	plantas	
Acelga	20	20	21
Anís	20	20	21
Berenjena	40	40	5
Remolacha*	15	10	54
Brócoli	30	25	11
Cebolla	12	10	67
Cebollín	10	8	101
Cibullet	15	10	54
Col China	25	25	13
Coliflor	30	30	9
Espinaca	17	17	28
Lechuga flotante	17	17	28
Lechuga en sustrato	20	17	23
Lulo o naranjilla	50	40	4
Nabo blanco*	10	8	101
Perejil liso	15	12	45
Perejil rizado	15	12	45
Pimentón	35	30	8
Puerro	10	10	81
Repollo	30	25	11
Tomate	35	30	8
Tomillo	17	17	28

Fuente: Marulanda. La huerta hidropónica popular (32)

* Estas especies se pueden sembrar directamente en el sitio definitivo, pero también por el sistema de trasplante.

Nota: En algunas especies es posible hacer siembra en triángulo, lo que permite tener algunas plantas más en el mismo espacio sin que se afecte su desarrollo. En esta forma se distribuye mejor el espacio para el desarrollo de las raíces.

A N E X O 2
G R A F I C O S

GRAFICO 1

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION

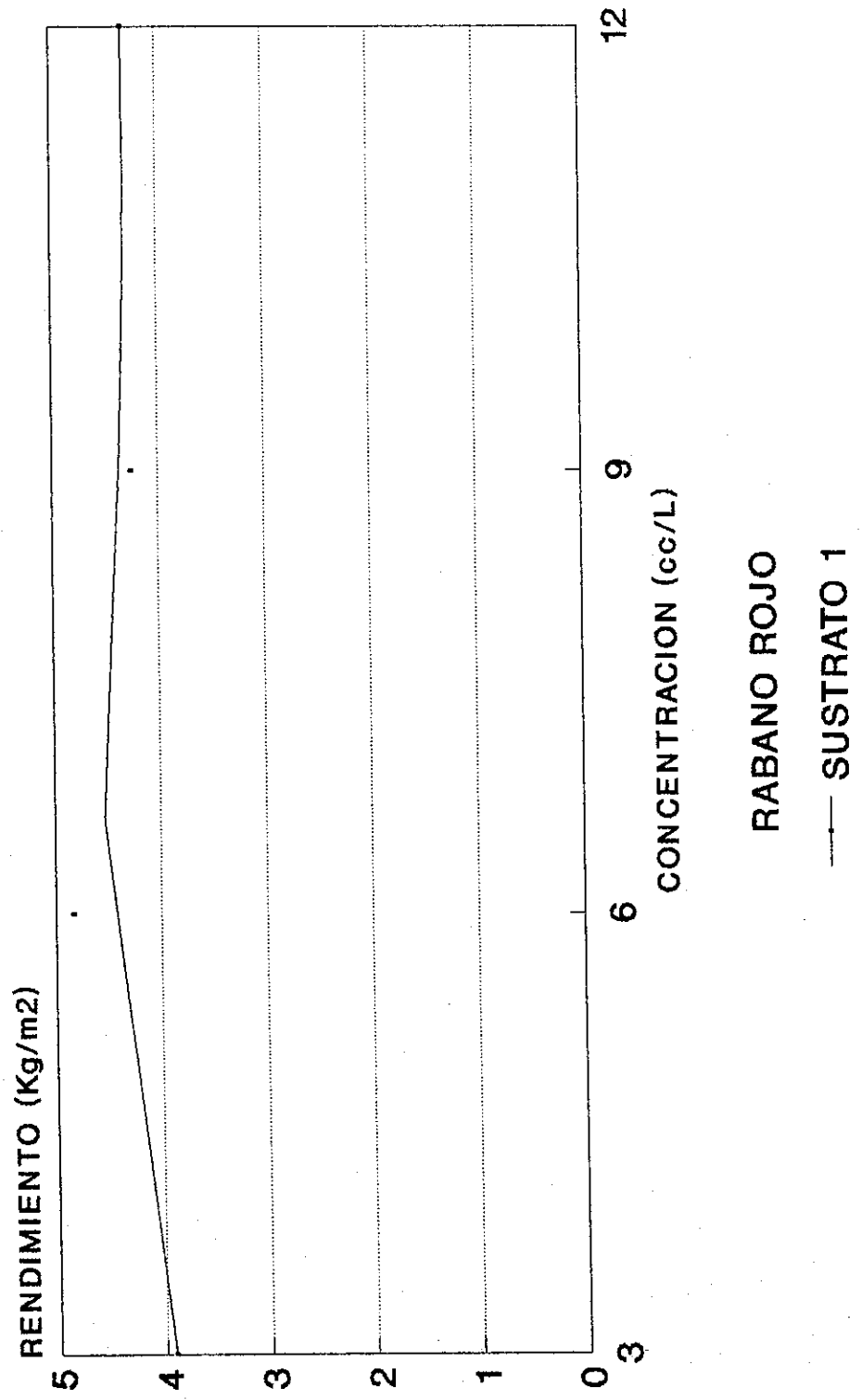


GRAFICO 2

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION

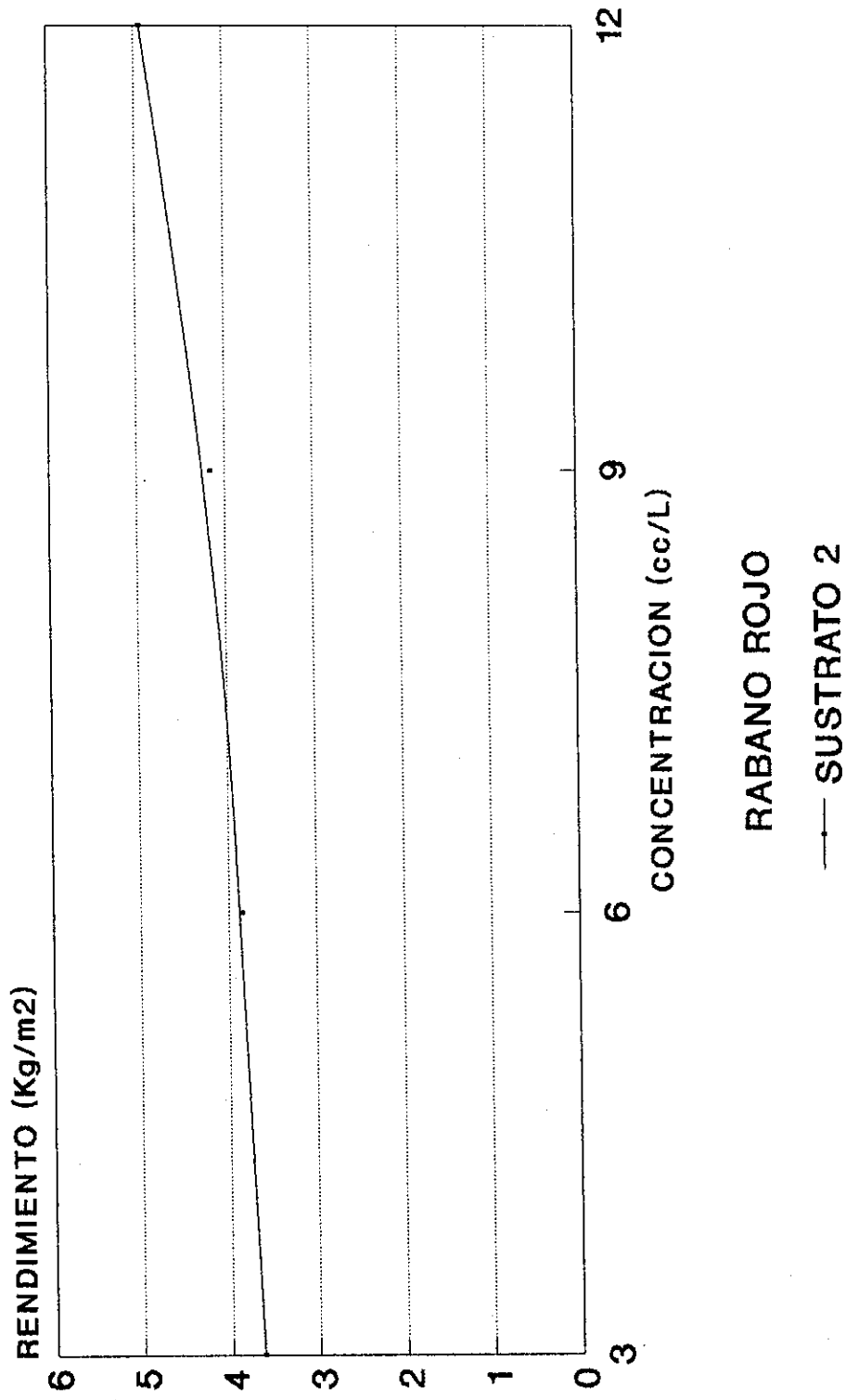
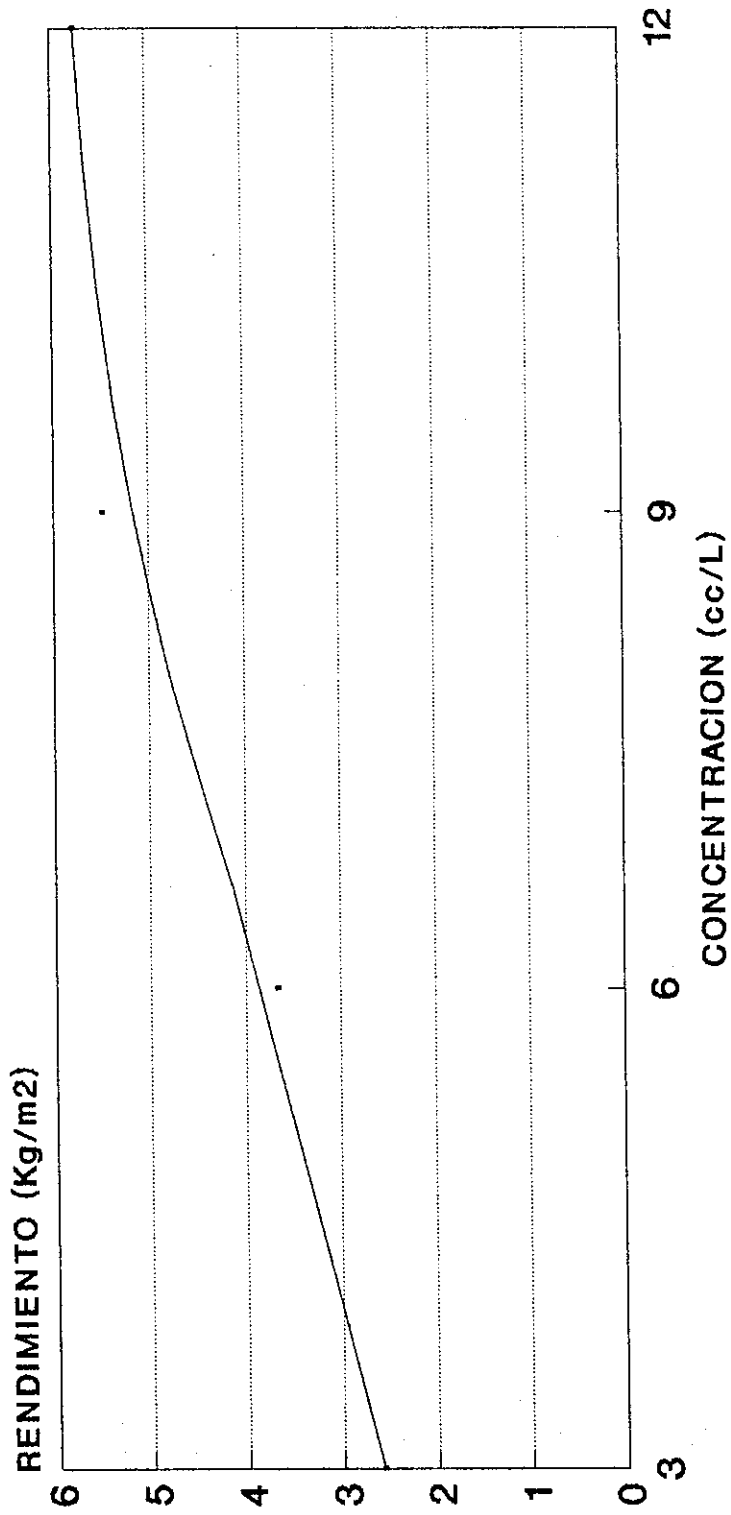


GRAFICO 3

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION



RABANO ROJO

—●— SUSTRATO 3

GRAFICO 4

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION

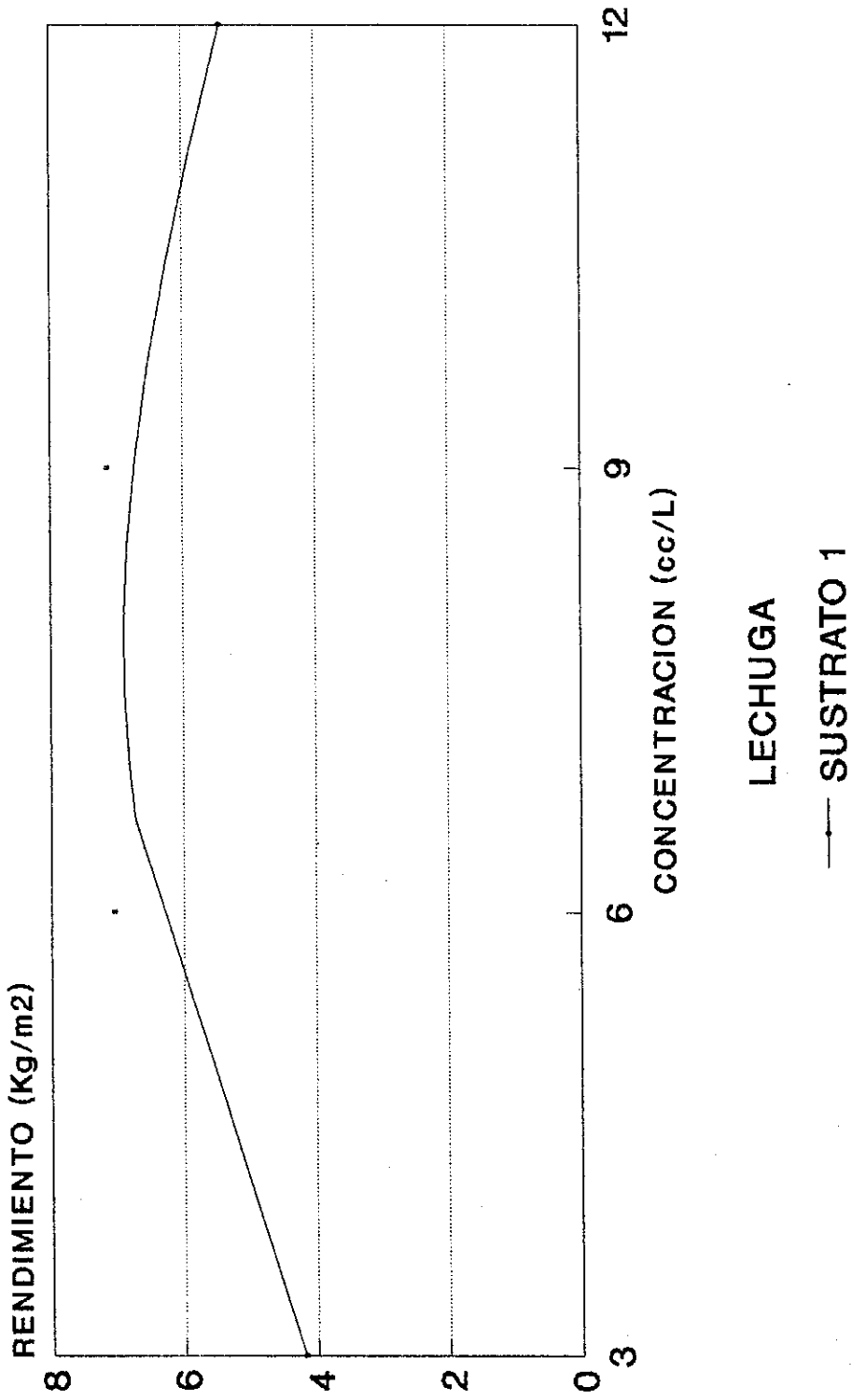
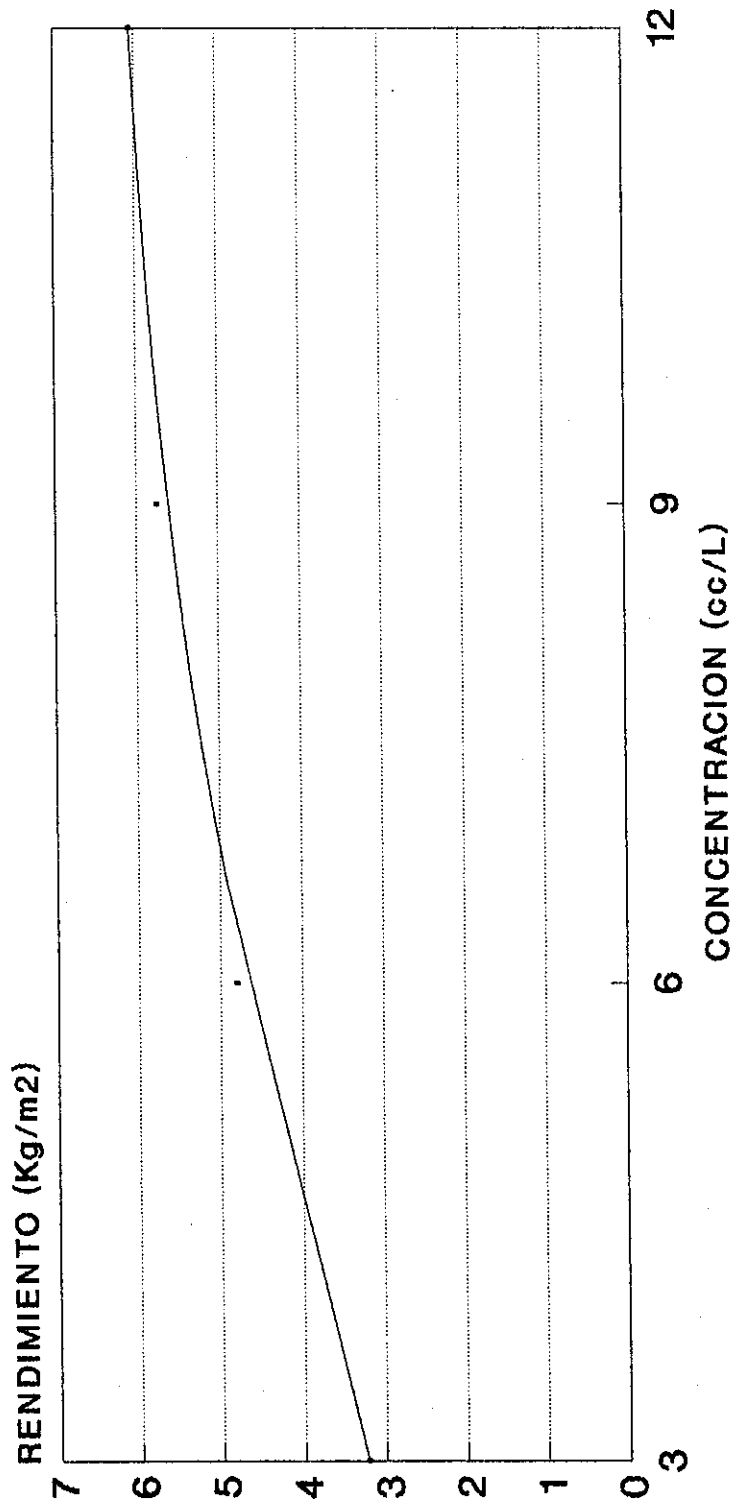


GRAFICO 5

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION

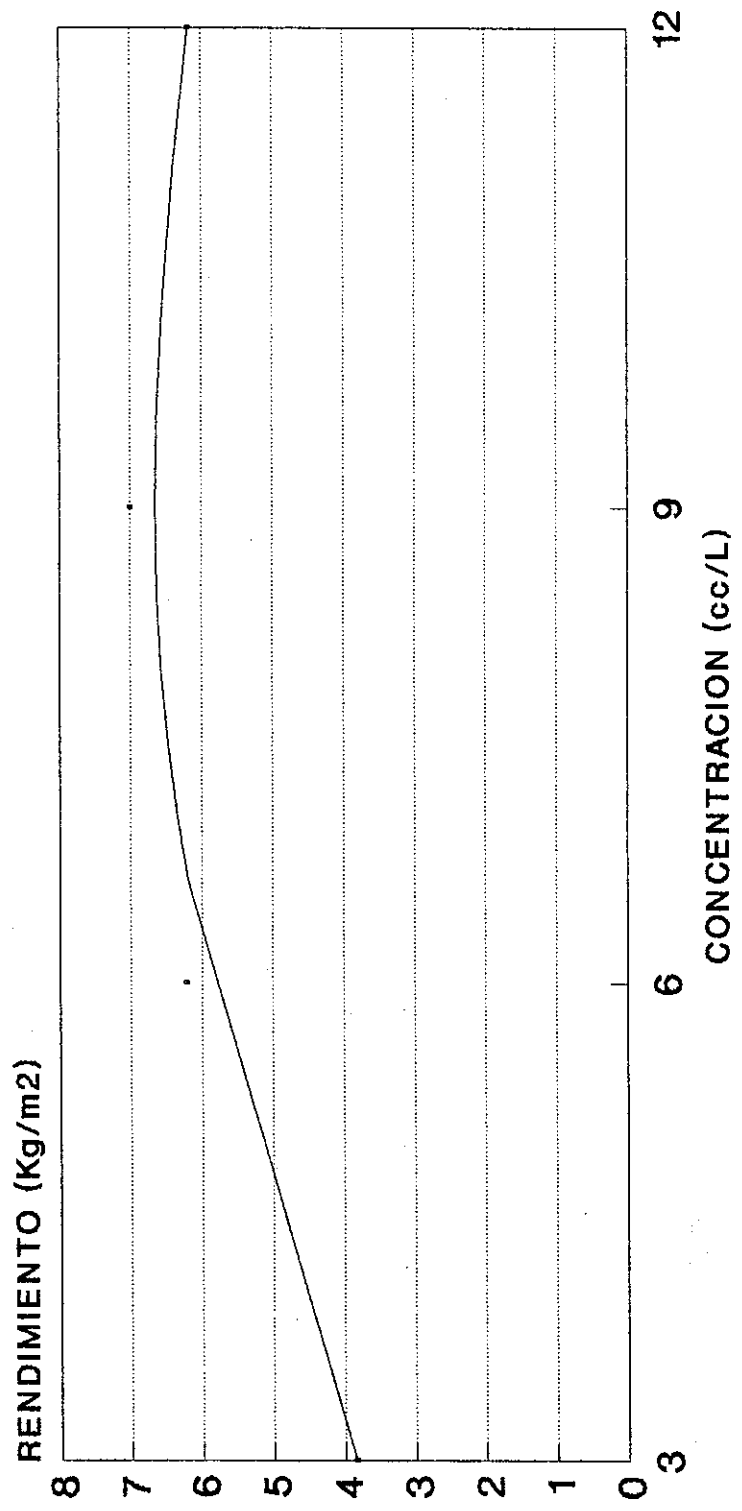


LECHUGA

—■— SUSTRATO 2

GRAFICO 6

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION

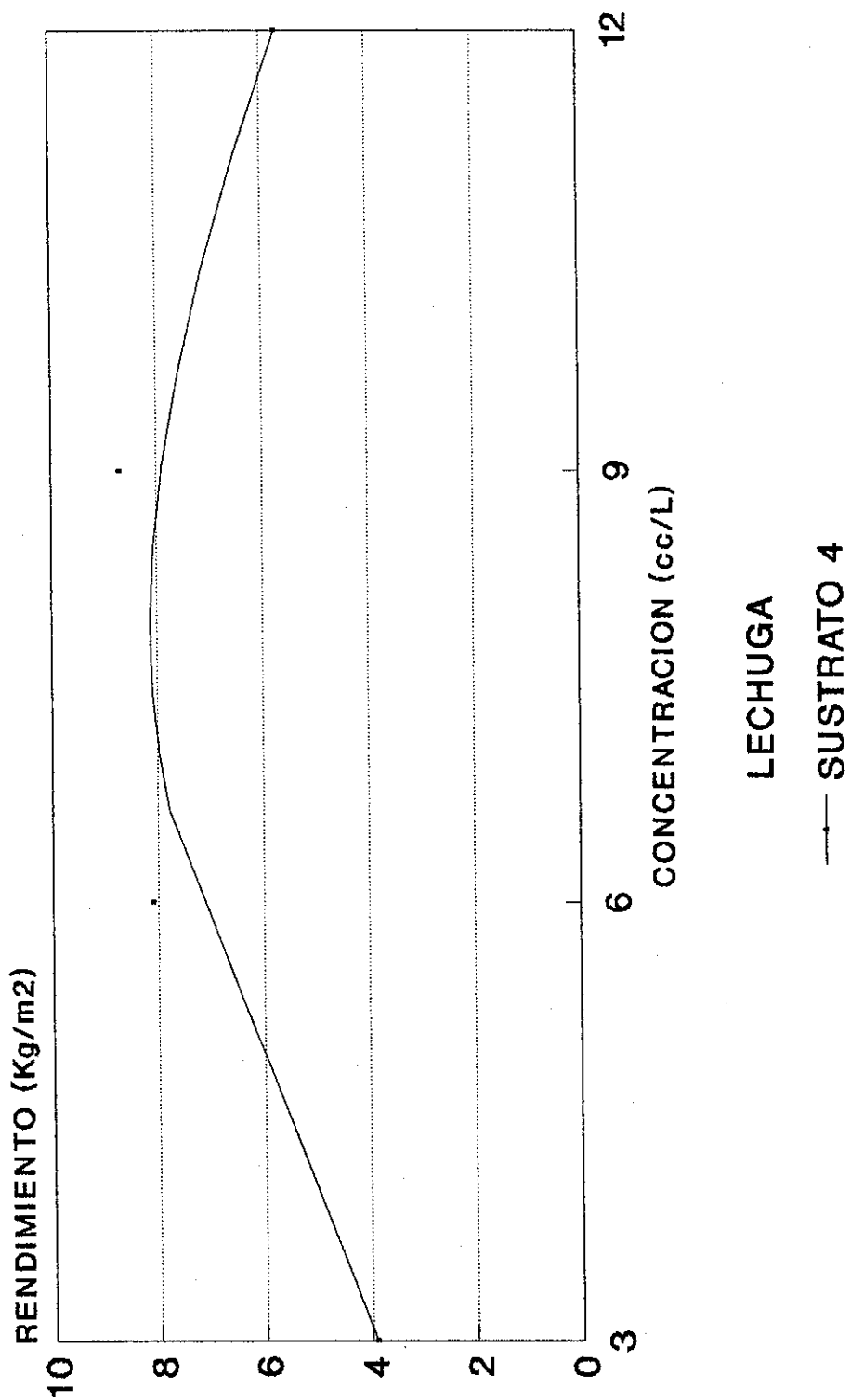


LECHUGA

—●— SUSTRATO 3

GRAFICO 7

RENDIMIENTO VRS. CONCENTRACION



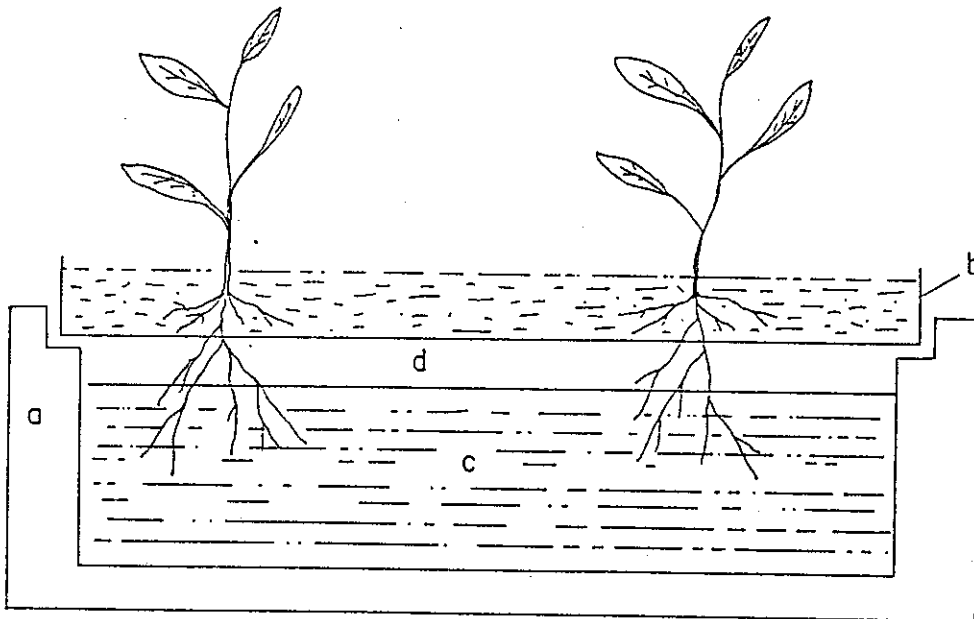
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES

A N E X O 3

F I G U R A S

FIGURA 1

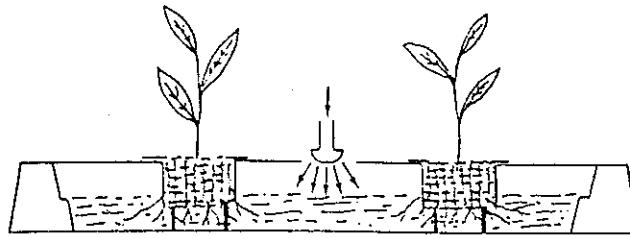
CORTE DIAGRAMATICO DE LA SECCIÓN DE UN TANQUE O CAMA PARA LA PRODUCCION DE CULTIVOS POR EL SISTEMA DE GERICKE DE CULTIVO SUMERGIDO EN AGUA



- (A) TANK CONSTRUCTED IN REINFORCED CONCRETE; ALTERNATIVE CONSTRUCTIONS ARE REFERRED TO IN THE TEXT.
- (B) FRAMEWORK OF WIRE MESH TO SUPPORT THE PLANTS IN A 'SEED BED' ABOVE THE SOLUTION. GALVANISED (ZINC-COATED) SURFACES MUST BE TREATED WITH A NON-TOXIC COATING.
- (C) NUTRIENT SOLUTION, IN WHICH THE MAIN ROOT SYSTEM DEVELOPS.
- (D) AIR SPACE BETWEEN THE BOTTOM OF THE SEED BED AND THE SURFACE OF THE NUTRIENT SOLUTION. FORMATION OF ROOTS IN THE MOISTURE-SATURATED AIR WAS REGARDED AS BENEFICIAL TO THE PLANTS (SEE STOUGHTON (1969), P.6).

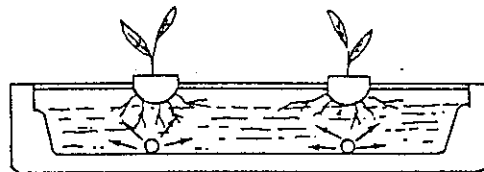
FIGURA 2

ALGUNAS FORMAS DE CULTIVO CON RECIRCULACIÓN SUMERGIDO O SEMISUMERGIDO. UTILIZADO EN JAPON, VISTO EN CORTE TRANSVERSAL



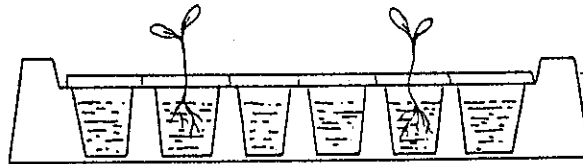
a) Kyowa Hyponica

[A] KYOWA HYPONICA. MOULDED BEDS MADE OF RIGID ABS RESIN. SOLUTION IS SUPPLIED TO THE BEDS VIA AN 'AIR MIXER'.



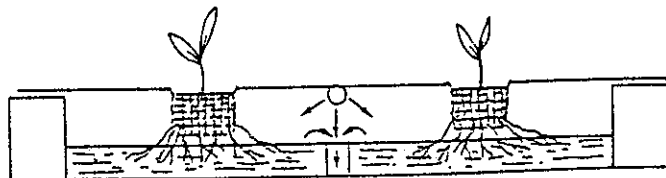
b) "M - system "

[B] THE 'M-SYSTEM'. CONSTRUCTED FROM EXPANDED POLYSTYRENE UNITS AND INCORPORATING AN 'AIR MIXER'.



c) Kubota system

[C] THE 'KUBOTA SYSTEM'. MOULDED IN RIGID ABS PLASTIC WITH INTERNAL SUBDIVISIONS.



d) Kamizono system

[D] THE KAMIZONO SYSTEM. A TRADITIONAL TYPE OF HYDROPONICS BED WITH SIDE WALLS OF CONCRETE BLOCKS AND A POLYTHENE LINING.

FIGURA 3

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE UN SISTEMA DE PELÍCULA NUTRIENTE (NFT)

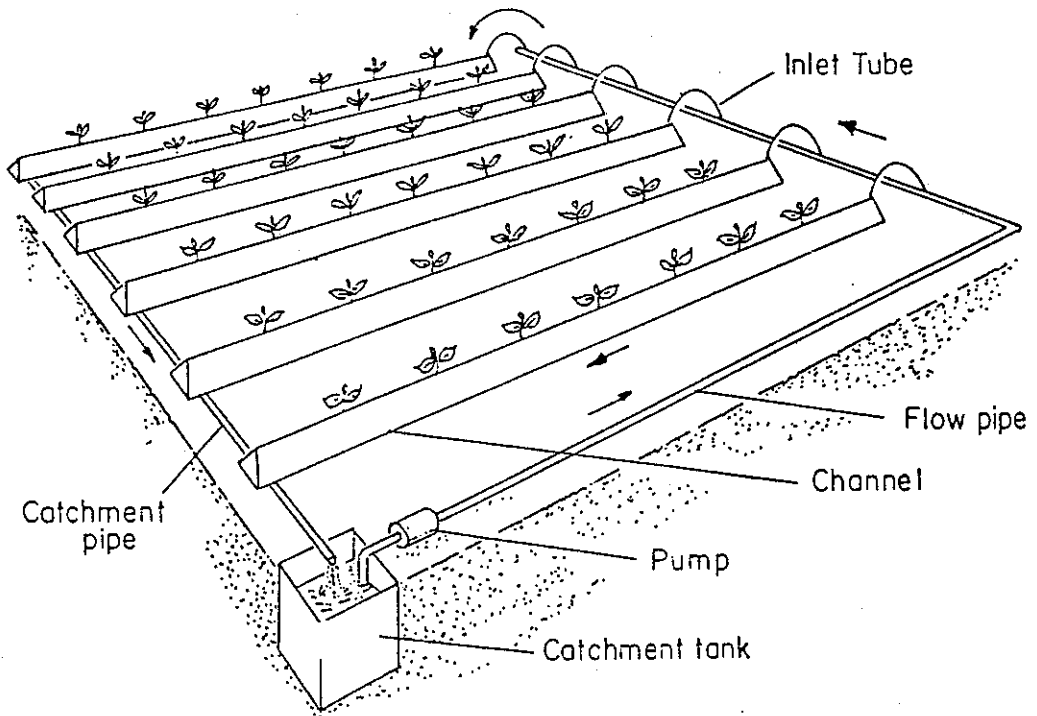


FIGURA 4

VISTA GENERAL DE UN SISTEMA NFT

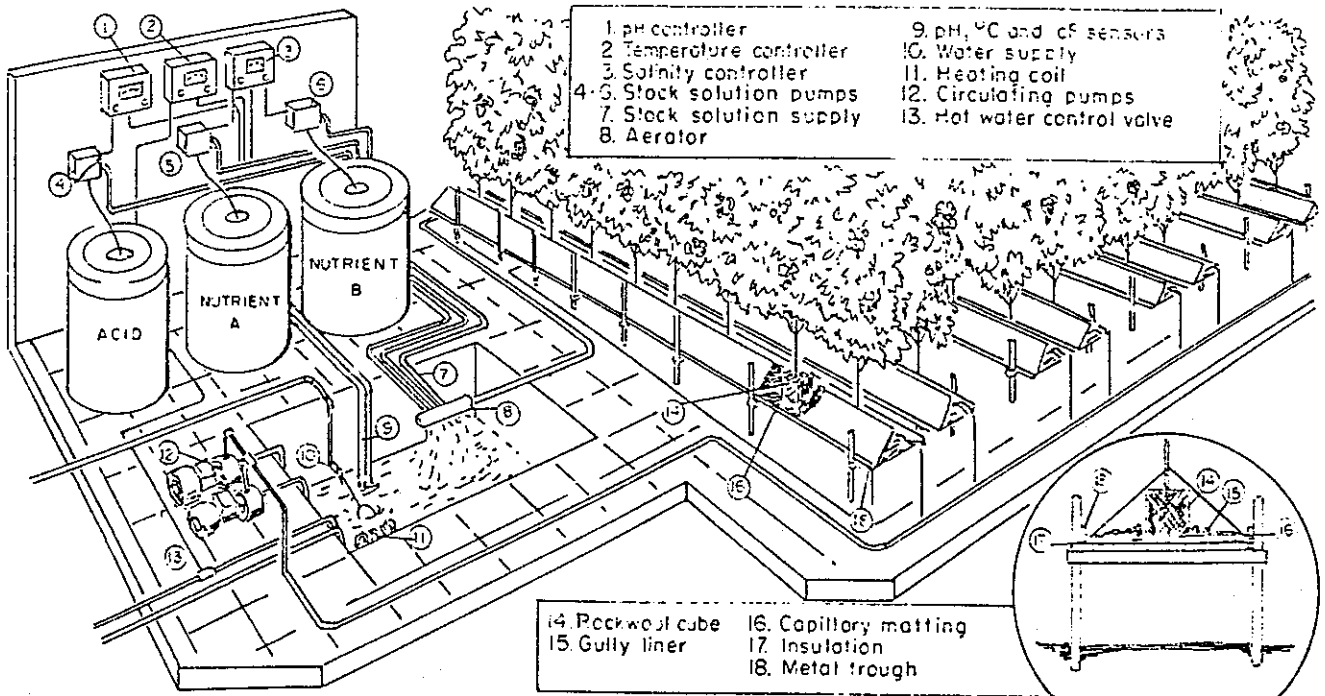


FIGURA 5

TANQUE DE RECUPERACIÓN Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO EN UN SISTEMA NFT AUTOMATIZADO

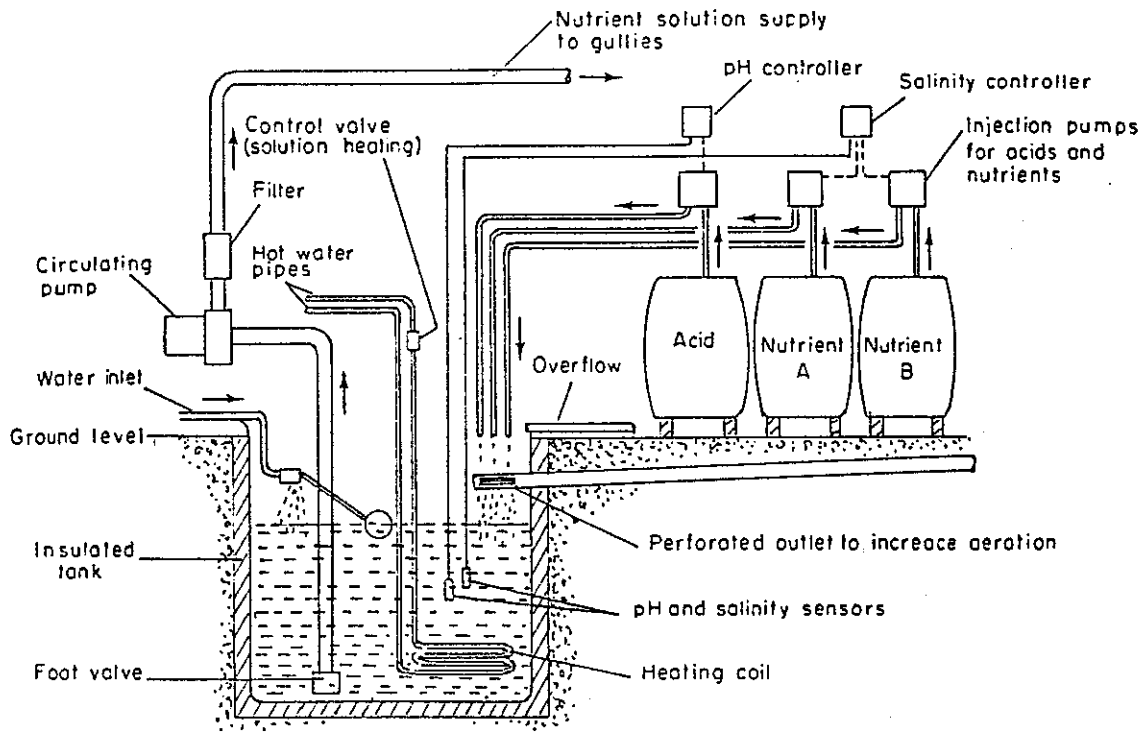


FIGURA 6

CULTIVO EN GRAVA SUBIRRIGADO, ALIMENTACIÓN DIRECTA

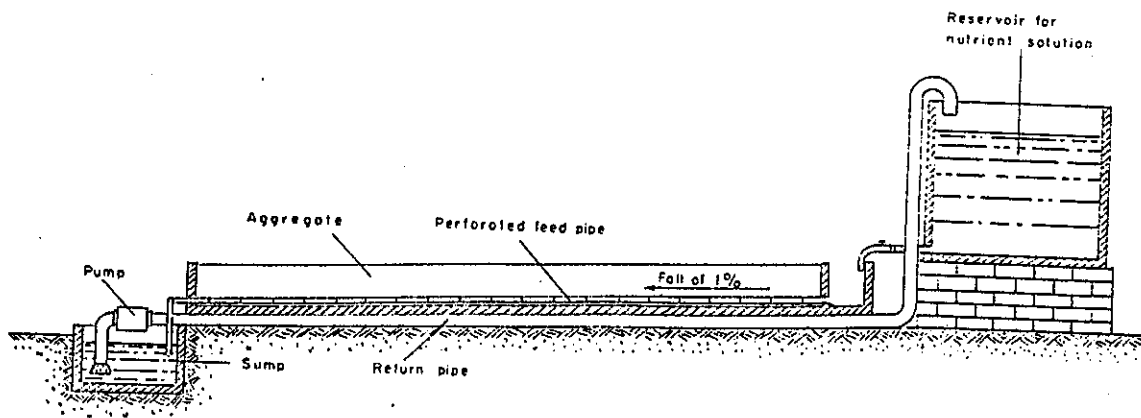
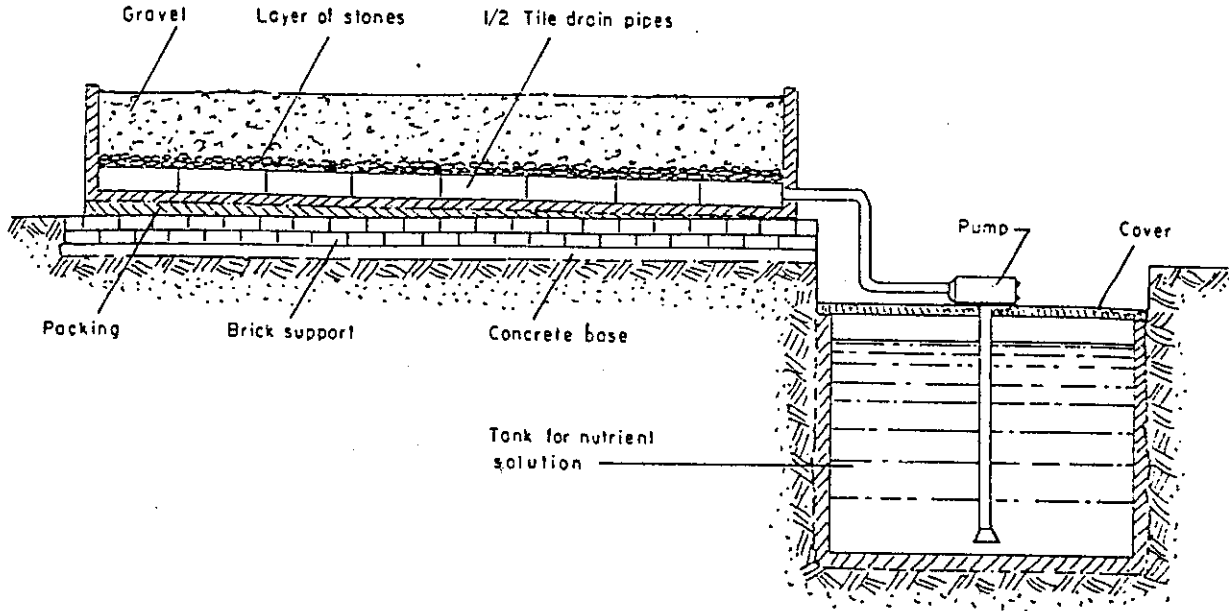


FIGURA 7

SISTEMA DE CASCADA A PEQUEÑA ESCALA DE CULTIVO EN GRAVA, PARA USO DOMÉSTICO, EN ISRAEL

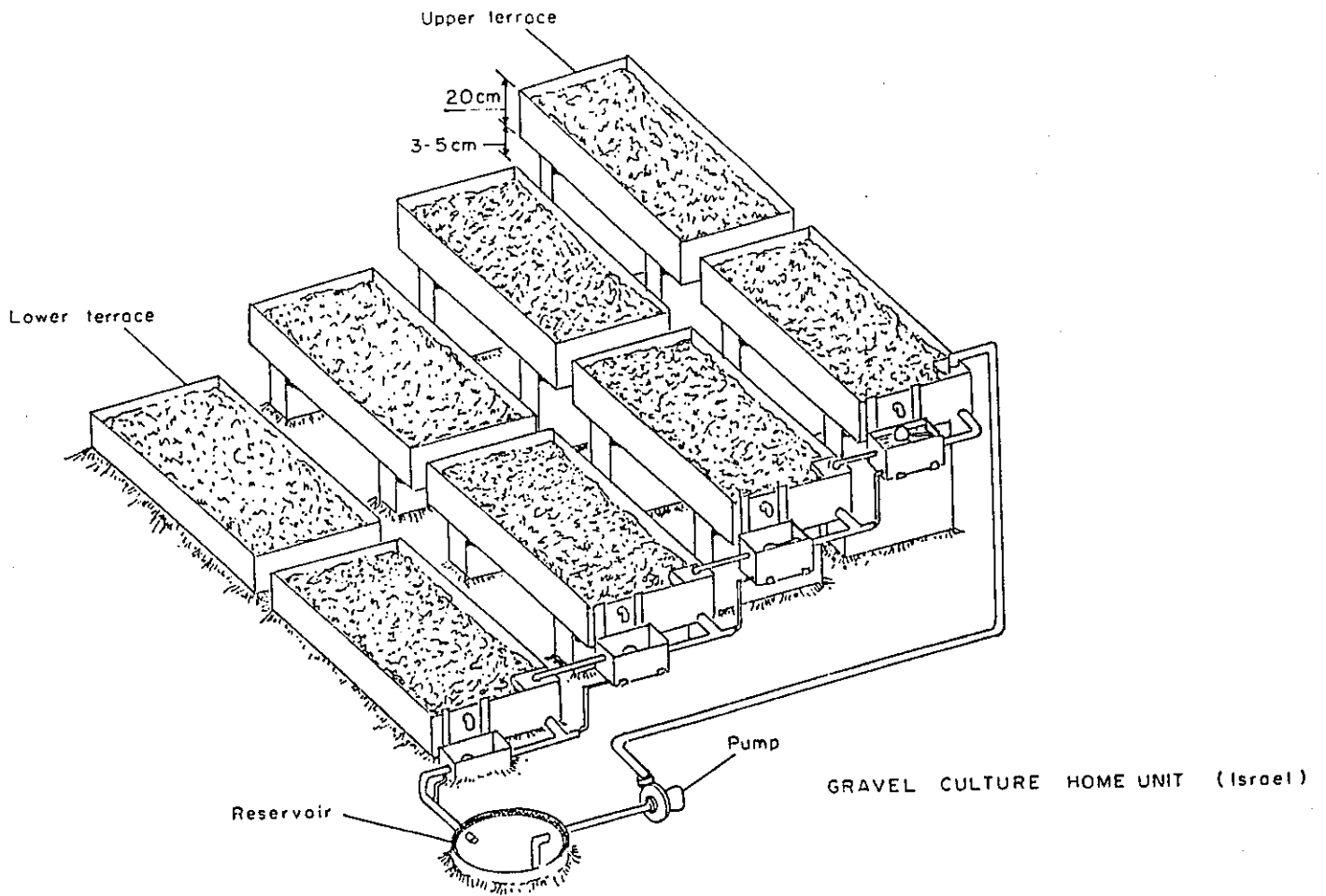


FIGURA 9

PLANCHA DE DUROPOR QUE MUESTRA LA FORMA EN QUE SE DISTRIBUYEN
LOS AGUJEROS EN UN SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE

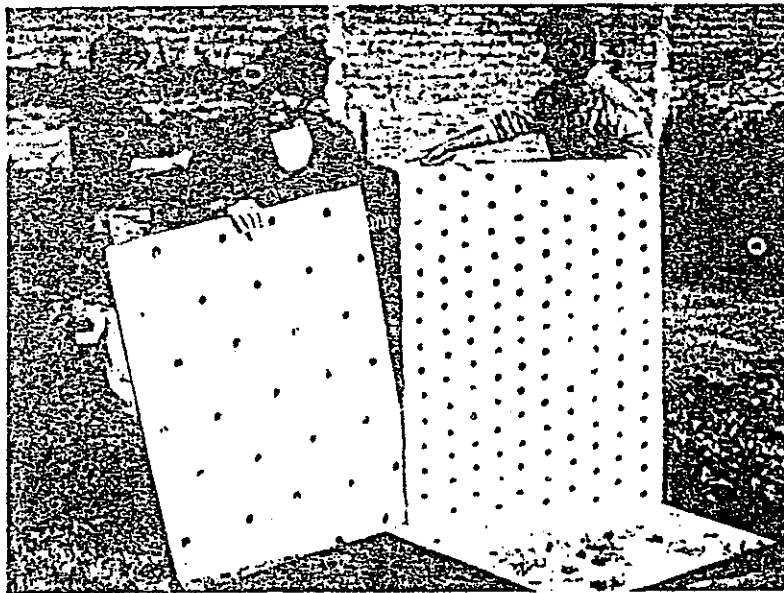


FIGURA 10

DIAGRAMA DEL TRANSPLANTE EN EL SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE

