

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**



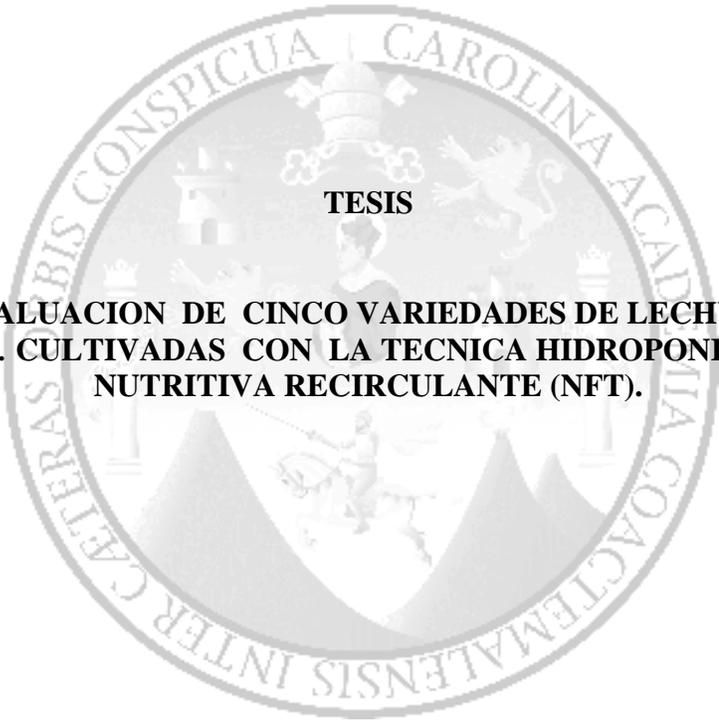
**TESIS**

**EVALUACIÓN DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA**  
*Lactuca sativa L.* **CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA SOLUCION**  
**NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT).**

**David Estuardo Barrera García**

**Guatemala, febrero de 2004.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure on horseback, a cross, and other heraldic symbols. The shield is surrounded by a circular border containing the Latin motto: "SIBI CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS".

**TESIS**

**EVALUACION DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA**  
*Lactuca sativa L.* **CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA SOLUCION**  
**NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT).**

**David Estuardo Barrera García**

**Asesores**

**Ing. Agr. Domingo Amador**  
**Ing. Agr. Luis Estrada Ligorria**

**Guatemala, febrero 2004.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**EVALUACIÓN DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA**  
*Lactuca sativa L.* **CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA SOLUCION**  
**NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT).**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE**  
**AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**David Estuardo Barrera García**

**En el acto de investidura como**  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADO**

**Guatemala, febrero 2004.**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Rector

Dr. M. V. Luis Alfonso Leal Monterroso

Junta Directiva de la Facultad de Agronomía:

Decano	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
Vocal Primero	Ing. Agr. Alfredo Iztep Manuel
Vocal Segundo	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
Vocal Tercero	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
Vocal Cuarto	Br. Luis Antonio Raquay Pirique
Vocal Quinto	Br. Juan Manuel Corea Ochoa
Secretario	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, febrero de 2004.

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

**EVALUACION DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA *Lactuca sativa* L. CULTIVADAS CON LA TÉCNICA HIDROPÓNICA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT).**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente.

David Estuardo Barrera García

## ACTO QUE DEDICO

A:

- Dios, Quien siempre a estado conmigo, en todos los momentos de mi vida, El me a sostenido en sus brazos.
- Mis Padres: Por su amor y paciencia ya que este triunfo es de ustedes.
- Mis Hermanos. Por su comprensión y apoyo brindado, en especial a Genaro Francisco.
- Mis tíos (as): Por ser ejemplos para mí y por sus sabios consejos.
- Mis primos(as): Por todos esos momentos que compartimos juntos.
- Mis amigos(as): Gracias, por todas las veces que estuvieron cuando los necesité.
- Las familias: Hernández Prado, Barrera Meza, García Silva y López Rojas, por todo el amor y apoyo incondicional que me han mostrado.
- Mis asesores: Por su ayuda y tiempo dedicado a esta investigación.

## TESIS QUE DEDICO

A:

- Dios, La luz de mi vida, quién a guiado mis pasos y a quien agradezco todo lo que he logrado.
- Mis Padres: Por su amor ayuda y esfuerzo brindado, gracias por estar siempre a mi lado.
- Mis Hermanos. Belveth, Carlos y Genaro por su amor, en especial a Genaro Francisco.
- Mis Sobrinos: Gilmar Andrés, Carlitos y Liza.
- Mis tíos (as): Por su apoyo y guianza durante toda mi vida.
- Mis primos(as): Por esos momentos agradables y difíciles que nos a tocado compartir juntos. En especial a Giovanni, Emmanuel, Gilmar, Ziomara, Guayo, Elio y Josué.
- Mis amigos(as): Gracias, por su amistad sincera, en especial a: Harol, Otto Hernández, Liuba de Hernández, Dani España, Carlitos, Luis Enrique, Grushenka Ruiz, Cesar Leonel, Iván Mancilla, Eduardo Rivas, Glendora, Carla Zamora, Edith Zamora, Julio Chinchilla, M. L. Nelly Ríos, Carlos López (chofo), Arturo Meléndez, Armando y Mónica, Carlos y Sharon, Otto Meléndez, Eric Martínez.
- Las familias: Hernández Prado, Barrera Meza, García Silva, López Rojas, España, Meza Barrera, García Ruedas, Ramírez García, Martínez Arceño, Mancilla Meléndez, José Luis Patzán, por el cariño expresado.
- Mis asesores: Por el apoyo y tiempo dedicado a mejorar esta trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme realizar esta investigación.

Ing. Agr. Domingo Amador, por su asesoría, apoyo y tiempo dedicado a esta investigación, realmente ha sido un ejemplo a imitar en el desarrollo ético y profesional, al compartir con usted el desarrollo de esta investigación.

Ing. Agr. Luis Estrada Ligorria, agradezco su asesoría, ayuda y todo el tiempo que dedicó a mejorar esta investigación y permitirme tomar como ejemplo su responsabilidad y amplia experiencia, la cual ha sido una motivación para mí..

A QUIMICAS STOLLER, por el apoyo al proporcionar los fertilizantes líquidos quelatados que se utilizaron en esta investigación.

Ing. Agr. Luis Guzmán, por su apoyo y consejos para realizar esta investigación.

A Pilonos de Antigua, por colaborar en la investigación al proporcionar la semilla y los pilonos de lechuga.

Al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía por su ayuda. Especialmente a, Ing. Agr. Anibal Sacbajá.

A la Facultad de Agronomía, por permitirme realizar esta investigación en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA).

Y a La Universidad de San Carlos de Guatemala, por permitirme formar parte de esta prestigiosa casa de estudios superiores.

## Contenido de la Investigación

	Página
Indice General	i
Indice de Cuadros y Figuras	iii
Indice de Anexos	iv
Resumen	v
1. Introducción	1
2. Definición del Problema	2
3. Marco Teórico	4
3.1. Marco Conceptual	4
3.1.1. Que es hidroponía	4
Historia de la Hidroponía	4
3.1.2. Ventajas de la hidroponía Inconvenientes de la hidroponía	5
3-1.3. Solución nutritiva	6
A. Calidad del agua y de la solución nutritiva	7
B. Conductibilidad Eléctrica	7
C. pH de la solución	8
D. Presencia de Sodio	10
E. Relación de absorción de sodio RAS	11
F. Presencia de Boro	11
G. Carbonatos y Bicarbonatos	12
3.1.4. Técnicas de cultivo hidropónico	12
A. Requerimientos de la Técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante	13
B. Componentes del sistema de la técnica NFT	13
3.1.5. Nutrición de las plantas	14
A. Elementos Nutricionales de las plantas	14
B. Deficiencias Nutricionales	17
C. Clasificación de fertilizantes	20
3.1.6. Fisiología de las plantas cultivadas en hidroponía	21
3.1.7. El Cultivo de la Lechuga	23
A. Variedades de Lechuga	24
B. Mercado del cultivo de la lechuga	25
C. Manejo agronómico del cultivo de lechuga	26
a. Preparación de Semilleros	26
b. Transplante	27
c. Cosecha	27
3.1.8. Indicadores para el análisis económico de la producción	27

3.2. Marco Referencial	28
3.2.1. Localización del área experimental	28
3.2.2. Condiciones climáticas de área experimental	28
3.2.3. Antecedentes del cultivo de lechuga, producidos en un sistema hidropónico	28
3.2.4. Solución Nutritiva la Molina	31
4. Objetivos	33
Generales	33
Específicos	33
5. Hipótesis	34
6. Metodología	35
6.1. Estructura del sistema de la técnica de NFT	35
6.1.1. Estanque colector	35
6.1.2. Canales de cultivo	35
6.1.3. Sistema de suministro de nutrientes	35
6.1.4. Red ó tubería de distribución	36
6.1.5. Tubería Colectora	36
6.2. Solución Nutritiva	36
6.3. Material Vegetal	38
6.4. Diseño Experimental	39
6.5. Manejo del Experimento	39
6.5.1. Manejo de la solución nutritiva	40
6.5.2. Manejo agronómico del cultivo	40
A. Preparación de semilleros	41
B. Transplante	41
C. Control de plagas y enfermedades	41
6.6. Variables a medir	42
6.6.1. Peso seco	42
6.6.2. Costos de producción	42
6.7. Análisis de la Información	42
6.7.1. Peso seco	42
6.7.2. Costos	42
7. Presentación de Resultados	43
7.1. Rendimiento de la variable peso seco	43
7.2. Rentabilidad	45
8. Conclusiones	48
9. Recomendaciones	48
10. Bibliografía	49
11. Anexos	52

## Indice de Cuadros y Figuras

	<b>Pagina</b>
Cuadro 1 Clasificación de agua según valores de CE	7
Cuadro 2 Tolerancia de algunos cultivos a las sales.	8
Cuadro 3 Valores recomendados de CE y pH en soluciones nutritivas para algunos cultivos.	10
Figura 1 Componentes del sistema de solución nutritiva recirculante.	14
Cuadro 4 Requerimientos Nutricionales del cultivo de lechuga.	23
Cuadro 5 Solución nutritiva La Molina, para lechuga y sus Concentraciones en ppm (mg/litro).	36
Cuadro 6 Concentraciones de elementos en p/p, de los fertilizantes Líquidos.	37
Cuadro 7 Cantidades de fertilizantes, en cc para preparar un litro de Solución.	38
Cuadro 8 Resultados de la variable peso seco en g/planta de las cinco variedades de lechuga.	43
Cuadro 9 Análisis de varianza de la variable peso seco g/planta.	44
Cuadro 10 Prueba de Medias de Tukey.	44
Cuadro 11 Rentabilidad y relación beneficio costo de las cinco variedades de lechuga cultivadas con la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante.	45

## Indice de Anexos

	<b>Página</b>
Figura 1 Mapa de ubicación del área experimental.	52
Figura 2 Cróquis del sistema NFT, para la producción de lechuga.	53
Cuadro 1 Aleatorización de Tratamientos	53
Cuadro 2 Rendimiento promedio por tratamiento y repetición de peso fresco en g/planta de lechuga.	54
Cuadro 3 Control de ph y CE mS/cm, de la solución nutritiva utilizada durante el período de producción.	54
Cuadro 4 Análisis de minerales, ph y CE del agua utilizada en el experimento proveniente del Centro Experimental Docente de Agronomía CEDA.	54
Figura 3 Fotografías del Resultados del experimento, Evaluación de cinco Variedades de Lechuga cultivadas con la Técnica de Solución Nutritiva Recirculante (NFT).	55
Figura 4 Area cosechada y producción (en miles), cultivo de lechuga período 1,990-2,001.	56
Cuadro 5 Costos y rentabilidad de la variedad escarola verde.	57
Cuadro 6 Costos y rentabilidad de la variedad suprema.	58
Cuadro 7 Costos y rentabilidad de la variedad escarola morada.	59
Cuadro 8 Costos y rentabilidad de la variedad romana.	60
Cuadro 9 Costos y rentabilidad de la variedad salinas.	61
Cuadro 10 Costos y rentabilidad de mezcla de variedades, romana escarola verde y escarola morada.	62
Cuadro 11 Costo totales del experimento incluyendo los costos de inversión del sistema.	

**EVALUACION DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA  
*Lactuca sativa L.* CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA SOLUCION  
NUTRITIVA RECIRCULANTE (NFT).**

**EVALUATION OF FIVE VARIETIES OF LETTUCE *Lactuca sativa L.*  
CULTIVATED IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT).**

**RESUMEN**

El crecimiento de la población en áreas urbanas y rurales trae como consecuencia una demanda de hortalizas y verduras que llenen estándares de calidad. Dentro de las hortalizas demandadas se encuentra la lechuga, que en mercados locales se hace difícil obtenerla con los estándares adecuados.

Esta demanda puede ser solventada produciendo el cultivo mencionado en forma intensiva y en espacios reducidos haciendo uso de la técnica hidropónica conocida como Técnica de solución nutritiva recirculante (NFT) con la que se hace posible obtener productos finales de alta calidad.

El objetivo de este trabajo, fué el de evaluar el comportamiento de cinco variedades de lechuga como la Escarola Morada, Suprema, Escarola Verde, Romana y Salinas cultivadas con la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT) y determinar cual de ellas presentaría el mayor rendimiento en peso seco y rentabilidad.

Para alcanzar el objetivo planteado, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, en donde los tratamientos fueron las cinco variedades de lechuga y se utilizó la solución nutritiva conocida como La Molina (20). El experimento se localizó en el centro experimental docente de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ocupando un área de 12 m<sup>2</sup> y un ciclo de cultivo de julio a noviembre de 2,003.

Los resultados indican que la variedad Salinas que fué tomada como testigo produjo un peso seco de 11g/planta. Este rendimiento fué superado por la variedad Suprema y Romana en 4g/planta(15g/planta en total) y 3g/planta(14g/planta en total) respectivamente. Las variedades Escarola Verde y Escarola Morada no superaron el rendimiento del testigo.

En relación a rentabilidad la variedad Romana fue la que presentó la mayor, en el orden de 112.2% con una relación beneficio costo 2.1% en comparación a la variedad que se tomó como testigo(Salinas) que presentó -26%. Sin embargo, la mezcla de variedades Romana, Escarola Verde y Escarola Morada en relación 1:1:1 al ser comercializadas en bolsas de 400g aproximadamente presentaron una rentabilidad del orden de 844.8% y una relación beneficio costo de 9.4%

## 1. INTRODUCCION

La producción de hortalizas puede hacerse en forma intensiva en espacios reducidos tanto en áreas rurales como urbanas, utilizando tecnologías de producción que combinen sustratos inértres y soluciones nutritivas.

La hidroponía es un método desarrollado que se basa en sistemas balanceados de control en donde las plantas reciben una nutrición adecuada para su crecimiento y desarrollo, basándose en que las plantas mantienen sus raíces continua ó intermitentemente inmersas en una solución acuosa que contiene los elementos minerales esenciales para su crecimiento.

La técnica hidropónica de la Solución Nutritiva Recirculante, conocida como el Sistema NFT, consiste en recircular permanentemente una lámina de solución nutritiva que moja las raíces de las plantas colocadas en un contenedor, aportándoles nutrientes y oxígeno durante su crecimiento. La solución es oxigenada a su regreso al tanque de nutrientes mediante el uso de una bomba de agua, sumergida en el mismo tanque colector que es reciclada al sistema nuevamente, permitiendo eficiencia al utilizar ésta técnica. .

Esta investigación pretende mostrar las ventajas de esta técnica y sus resultados en el cultivo de la lechuga, por la importancia económica y nutritiva de este cultivo, que es una fuente de minerales para la alimentación humana, además de ser una hortaliza muy utilizada en ensaladas y para el adorno de muchas comidas. Por estas razones se busca beneficiar la producción de este cultivo, elevando su rendimiento y mejorando su calidad nutritiva.

En ésta investigación se realizó una comparación de la rentabilidad del cultivo y se determinó que era posible acortar su ciclo de cultivo mediante la Técnica de Solución Nutritiva Recirculante (NFT) para tener mayor número de cosechas al año, con lo que se muestra un avance tecnológico en la producción de hortalizas de este tipo.

## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

En Guatemala desde hace algunos años se observa un crecimiento de población y vivienda en el área urbana, debido a la migración de personas que habitaban el área rural que busca nuevas oportunidades de trabajo. Esto ocasiona el aumento, de una demanda de productos alimenticios de buena calidad, como es el caso de hortalizas y verduras.

Se necesita entonces buscar áreas con espacio disponible y adecuadas para la producción de hortalizas en áreas urbanas, lo que puede pensarse que es difícil de obtener. Sin embargo hay alternativas viables y eficaces que solucionen este tipo de problema y que se puedan aplicar en áreas donde parezca difícil cultivar hortalizas. La hidroponía puede ser una forma de obtener hortalizas, la cual ha mostrado ser una buena opción para proveer de alimentos a la población urbana. Esto está ocurriendo en países de América Latina y puede ser una opción para utilizarla en nuestro país.

La hidroponía contempla diferentes técnicas de producción de hortalizas, tanto de hojas como de fruto, entre las cuales se puede mencionar las técnicas en un medio sólido ó sustrato (agregados, grava) y técnicas en un medio líquido ó solución nutritiva (raíz flotante, solución nutritiva recirculante). Unas más eficientes que otras en cuanto a su manejo, costos y la calidad de la producción de los cultivos ya que no utiliza suelo ni áreas extensas ó adecuadas para la producción de hortalizas. Por lo anterior es necesario orientar esta técnica a la obtención de resultados, en cuanto a mejorar calidad, cantidad y rentabilidad en la producción de hortalizas.

Específicamente la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante (NFT), esta diseñada principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad, desarrollándose y difundida en países donde existen condiciones limitadas de suelo y área, permitiendo su implementación en cualquier espacio de terreno y un mercado promisorio para suplir con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad.

Además contribuye a la iniciativa de Seguridad Alimentaria Nutricional en Centroamérica impulsada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), ya que su aplicación influye en la corrección de problemas nutricionales y contribuye a mejorar las condiciones básicas, desarrollando empleos, aumentar la disponibilidad y calidad de alimentos así como cambios en los estilos de vida y sobre todo mejorar la dieta haciéndola más saludable.

Esta técnica puede ser utilizada en la producción de hortalizas de importancia tanto económico como nutricional para la dieta humana y entre estas, se encuentra el cultivo de la lechuga.

Esta hortaliza contiene una fuente de minerales necesarios para la alimentación humana, lo que la hace importante desde el punto de vista alimenticio.

Se puede mencionar también su importancia como producto agrícola, ya que la lechuga, en el país ha venido tomando importancia en los últimos años, teniendo un crecimiento en cuanto a área (Banco de Guatemala) producida y producción. Se ha observado un incremento desde el año 1,990 hasta el 2,001 (Cuadro 4 de anexos), ya que es demandada en consumo fresco, utilizada para ensaladas principalmente y para el adorno de platillos.

Se encuentra en el mercado, con un valor agregado, ya que es procesada y empacada, permitiendo una demanda en los supermercados, en donde puede encontrarse, en fresco por unidad ó simplemente las hojas de algunas variedades para el consumo en ensaladas y otros platillos.

En la presente investigación se realizó una evaluación de cinco variedades de lechuga, en las que se utilizaron las arriba mencionadas, mediante la medición del rendimiento, en peso seco después de cosecha y su rentabilidad, utilizando la técnica hidropónica denominada, Solución Nutritiva Recirculante (NFT).

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1. ¿ Que es Hidroponía ?

Amador (1), menciona que la HIDROPONIA (*hidro=agua* y *ponnos* trabajo ó actividad) es un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte ó simplemente la misma solución.

La hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la siembra de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, forrajes, producción de algas y semillas certificadas en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año.

##### **Historia de la Hidroponía.**

La Hidroponía es una ciencia que estudia los cultivos sin tierra. Cuando se habla de hidroponía se tiende a asociarlo con el Japón como poseedor de alta tecnología, pero esto no es necesariamente cierto. La hidroponía no es una técnica moderna, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo cultura y civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia. Por ejemplo, es poco conocido que los aztecas construyeron una ciudad en el lago de Texcoco y cultivaban su maíz en barcos ó barcazas con un entramado de pajas, y de ahí se abastecían. Hay muchos ejemplos como éste; los Jardines Colgantes de Babilonia eran hidropónicos porque se alimentaban de agua que fluía por unos canales. Esta técnica existía en la antigua China, India, Egipto, también la cultura Maya la utilizaba, y hoy en día se tiene como referencia a una tribu asentada en el lago Titicaca y es igualmente utilizada comercialmente, desarrollándose a niveles muy elevados, en países con limitaciones serias de suelo y agua. Por ejemplo, es un hecho poco difundido que durante la segunda Guerra Mundial los ejércitos de USA en el pacífico se abastecían en forma hidropónica, lo cual le dió un gran auge hoy en día al sistema y los japoneses, por falta de espacio y de agua, desarrollaron la tecnología norteamericana a niveles asombrosos.

La NASA la ha utilizado desde hace aproximadamente 30 años para alimentar a los astronautas.

Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de sustrato como grava, arena, piedra pómez, aserrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, etc., a los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

### **3.1.2. Ventajas e inconvenientes de la hidroponía.**

#### **Ventajas de la Hidroponía**

La hidroponía presenta una serie de ventajas tanto en lo técnico como en lo económico, con respecto a otros sistemas de producción como describe Sánchez, 1,988 (26).

- a) Promueve el balance de aire, agua y nutrientes: Al utilizar un sistema de cultivo en suelos, es sumamente difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieren. En hidroponía dadas las características del sistema es posible mantener tanto la humedad como el drenaje debido a las características del sustrato.
- b) Mayor densidad de población, se obtienen altos rendimientos por unidad de área ya que los nutrientes no son limitantes, se corrige fácil y rápidamente la deficiencia nutricional, permite control del pH, uno de los factores que influyen notablemente en la disponibilidad y asimilación de nutrimentos y por lo tanto en el rendimiento de las plantas.
- c) No depende de los fenómenos meteorológicos ya que normalmente los cultivos en hidroponía se protegen contra los vientos fuertes, las granizadas, altas y bajas temperaturas, sequías. Se puede predecir con más seguridad el monto de la cosecha para planear su comercialización con anticipación, reduce la contaminación ambiental y los riesgos de erosión.
- d) Permite obtener productos de calidad, existe uniformidad en la producción de los cultivos, ya que las plantas florecen y maduran al mismo tiempo. Se puede utilizar menor cantidad de mano de obra por área y también se puede utilizar mano de obra no calificada.

- e) Ahorro en el consumo de agua, debido a que se recircula el agua y se riega por métodos de subirrigación en contenedores impermeables, la recuperación de la inversión se realiza en corto tiempo, se reducen los costos de producción, debido a menores gastos de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, etc., ya que se ahorra tiempo y dinero en limpieza de malezas y los materiales los cuales pueden ser reciclables.

### **Inconvenientes de la hidroponía**

- a) Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química.
- b) Al utilizar mano de obra no calificada, requiere de previa capacitación para el manejo del sistema.
- c) A nivel comercial la inversión inicial es alta.
- d) Se requiere de un abastecimiento continuo de agua.
- e) Es necesario conocer la especie que se pretende cultivar.

### **3.1.3. Solución Nutritiva**

Sánchez & Escalante, 1,988 (26) define solución nutritiva como, el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Se ha probado que para el crecimiento y desarrollo de las plantas son necesarios los elementos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel.

En un sistema hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno, é hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de una solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua como describe Sánchez & Escalante, 1,988 (26).

### **A. Calidad del agua y de la solución nutritiva**

Es importante conocer la composición química del agua para decidir si es posible su uso para fines de producción hidropónica. Para conocer la calidad del agua se debe hacer un análisis químico en un laboratorio especializado.

Rodríguez, 2,001 (21) dice que para preparar la solución nutritiva se debe tomar en cuenta la concentración de macro y micro nutrientes en el agua. Generalmente el agua contiene calcio, magnesio, azufre y boro, por lo tanto deben ser considerados al formular la solución nutritiva.

Algunas fuentes de agua contienen sodio y cloruros; si los niveles son altos, aumenta la salinidad de la solución nutritiva y pueden provocar toxicidad a las plantas. Es por esta razón que no se recomienda utilizar fertilizantes que contienen cloruros ni sodio.

### **B. Conductibilidad Eléctrica (CE)**

Es muy importante conocer la CE del agua; ya que esta mide el contenido total de sales que tiene el agua o la solución nutritiva; a mayor CE mayor contenido de sales y viceversa. La CE se expresa en miliSemens (mS/cm) o en deciSemens (dS/cm), en el cuadro No. 1 se presenta una clasificación de aguas según su CE expresado en mS/cm como menciona Rodríguez; H. C. 2,001 (21).

**Cuadro 1 Clasificación de agua según valores de CE.**

< 0.5 mS/cm, agua no salina (C1)
0.5 -1.0 mS/cm, agua de baja salinidad (C2)
1.0 -1.5 mS/cm, agua ligeramente salina (C3)
> 1.5 mS/cm, agua salina (C4)

**Fuente: Rodríguez; H. C. 2001.**

La CE de una solución nutritiva aumenta alrededor de 2% por cada grado Celsius (°C) de aumento, por ésta razón actualmente se utilizan conductímetros con compensación automática de temperatura. Ya que una solución nutritiva es una mezcla de diferentes sales, donde cada sal contribuye al valor de CE de la solución. Algunas sales como el nitrato de potasio, incrementan más el valor de CE de una solución que otras sales como el nitrato de calcio ó sulfato de magnesio según Rodríguez; H. C. 2,001 (21).

Para preparar soluciones nutritivas Rodríguez; H. C. 2,001 (21) recomienda usar aguas no salinas ó de baja salinidad aunque también se pueden usar aguas ligeramente salinas.

Por otro lado Rodríguez; H. C. 2,001 (21) menciona que se pueden usar aguas salinas bajo cierta restricciones sólo debe destinarse a cultivos tolerantes a sales. Cuando se agregan fertilizantes a las soluciones concentradas para preparar la solución nutritiva, la CE de la solución no debería exceder de 2.0 mS/cm de lo contrario el crecimiento de las plantas podría verse afectado principalmente en cultivos que son sensibles a las sales. En el cuadro 2 se anotan algunas especies hortícolas y su tolerancia a las sales.

**Cuadro 2 Tolerancia de algunos cultivos a las sales.**

<b>Tolerantes</b>	<b>Semitolerantes</b>		<b>Sensibles</b>
Espárrago	Acelga	Cebolla	Berro
Espinaca	Albahaca	Coliflor	Fresa
Melón	Apio	Papa	Lechuga
Pepinillo	Betarraga	Pimiento	
Sandia	Brócoli	Rábano	
Tomate		Zanahoria	

**Fuente: Rodríguez; H. C. 2001**

### **C. pH de la Solución**

Conocer el pH que rodea a las raíces es de extrema importancia para el desarrollo adecuado y crecimiento. La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5.0 a 6.5.

Para medir el pH de agua ó de la solución nutritiva se utiliza, papel indicador ó también se puede utilizar el método de electromagnética, la cual utiliza aparatos especiales con electrodos.

El pH mide la concentración de los iones hidrógeno ( $H^+$ ) de una solución, a mayor concentración de iones hidrógeno libres; menor será el pH y viceversa.

Es importante conocer el pH, ya que este valor permite saber el grado de disponibilidad de los nutrientes minerales en la solución nutritiva y por lo tanto, su disponibilidad para las plantas. El ph cambia continuamente porque las plantas remueven iones de la solución nutritiva (Rodríguez; H. C. 2,001 (21))

Los cambios de pH en la solución ocurren a medida que cambia el balance de nutrientes, debido a que algunos elementos minerales son mejor absorbidos por las plantas a diferentes rangos de ph : en un cultivo de lechuga en un sistema de raíz flotante, inicialmente el pH de la solución nutritiva tiende a elevarse ( $> 7.0$ ), pero a medida que las plantas empiezan a establecerse y a absorber mayores cantidades de nutrientes, el pH tiende a bajar entre 5.0 - 6.5. Esto indica que una vez que las plantas han empezado una fase de rápido crecimiento, los nutrientes absorbidos por las raíces son aquellos que contribuyen a mantener ligeramente ácida la solución nutritiva. Cuando las plantas remueven iones positivos (Cationes,  $Ca^{+2}$ ,  $K^+$ ), estos son reemplazados con iones  $H^+$ , que son los que disminuyen el pH de la solución. (Rodríguez; H. C. 2,001 (21))

En un sistema recirculante el pH tiende a elevarse ( $pH > 7.0$ ) y tiene que ser ajustado a 6.5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico ó sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, (por esto es necesario conocer rangos de pH adecuados para los cultivos sin necesidad de ajustar diariamente el pH . (Rodríguez; H. C. 2,001 (21))

**Cuadro 3 Valores recomendados de CE y pH en soluciones nutritivas para Algunos cultivos.**

<b>Cultivo</b>	<b>CE mS/cm</b>	<b>PH</b>
Albahaca	1.8-2.2	5.5-6.5
Apio	2.5-3.0	6.0-6.5
Brócoli	3.0-3.5	6.0-6.8
Cebolla	1.4-1.8	6.0-7.0
Col	2.5-3.0	6.5-7.0
Coliflor	1.5-2.0	6.5-7.0
Espinaca	1.4-1.8	6.0-7.0
Fresa	1.4-2.0	6.0-6.5
<b>Lechuga</b>	<b>0.8-1.6</b>	<b>5.0-6.5</b>
Melón	2.0-2.5	5.5-6.0
Papa	2.0-2.5	5.0-6.0
Pepinillo	1.0-2.5	5.5-6.0
Sandía	1.7-2.5	5.8-6.2
Tomate	2.0-5.0	5.5-6.5
Zanahoria	1.6-2.0	5.8-6.3

**Fuente. Rodríguez; H. C. 2001.**

#### **D. Presencia de sodio**

El sodio, (Rodríguez; H. C. 2,001 (21)) es uno de los elementos mas problemáticos en sistemas recirculantes y aún en sistemas abiertos, en altas concentraciones es toxico para ciertos procesos en la planta. En hojas reduce la fotosíntesis y reacciones enzimáticas; sin embargo, las plantas tienen la capacidad de bloquear la absorción de sodio dentro de la hoja.

Contribuye a elevar los valores de CE de la solución nutritiva, desplazando a los elementos esenciales.

En sistemas hidropónicos recirculantes, niveles de 50 ppm de sodio pueden ser tóxicos para cultivos como la lechuga y fresa. Las fuentes de sodio en el agua son el cloruro de sodio y el bicarbonato de sodio, los cuales contribuyen a elevar la CE de una solución nutritiva. (Rodríguez; H. C. 2,001 (21))

## **E. Relación de absorción de sodio (RAS)**

RAS es un índice que mide la acumulación de sodio en el agua.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na} + \sqrt{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}}{2}$$

Donde  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  representa las concentraciones de los iones respectivos en mili equivalentes por litro (meq/litro).

De acuerdo con el RAS, las aguas pueden clasificarse en: agua baja en sodio (S1), agua media en sodio (S2), agua alta en sodio (S3) y agua muy alta en sodio (S4).

Las aguas con altos niveles en sodio (S3 y S4) pueden producir toxicidad en un gran número de cultivos, principalmente en aquellos cultivos sensibles a las sales. La lechuga es un cultivo que puede llegar a tener rendimientos comerciales a altas concentraciones de sodio (60-100 ppm) que exceden a los niveles recomendados (10-60 ppm). Es posible que las plantas de lechuga se adapten a la acumulación gradual de sodio en la solución nutritiva (Rodríguez; H. C. 2,001 (21)).

## **F. Presencia de Boro**

El Boro es otro elemento común en fuentes de agua y puede acumularse a niveles excesivos en sistemas hidropónicos recirculantes (Rodríguez; H. C. 2,001(21)). Si se prepara una solución nutritiva con agua que contenga boro, estas deberán ajustarse a la fórmula de la solución nutritiva.

Las concentraciones de boro recomendadas en una solución nutritiva para un sistema recirculante está entre 0.3 y 0.7 mg/litro; los síntomas de toxicidad de boro incluye el enroscamiento hacia arriba de hojas jóvenes, llegando a ser frágiles y marrones y luego se secan. Las hojas nuevas pueden ser pequeñas y pálidas. Las hojas adultas son afectadas primero, luego mueren y caen y en casos extremos con altos niveles de boro, la planta puede morir prematuramente (Rodríguez; H. C. 2,001 (21)).

## **G. Carbonatos y Bicarbonatos**

Se recomienda que el agua este libre ó contenga bajas concentraciones de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ); en aguas con alto contenido de carbonatos y bicarbonatos (> 5.0 meq/litro, el calcio, magnesio, manganeso y el hierro tienden a precipitar y al no estar disponibles, las plantas muestran sus deficiencias (Rodríguez; H. C. 2,001 (21)).

### **3.1.4. Técnicas de cultivo hidropónico**

#### **Sistema NFT**

El sistema consiste en recircular en forma permanente una lámina fina de solución nutritiva que permite, tanto la oxigenación de las raíces, como también el aporte de sales nutritivas y agua al cultivo durante su período de crecimiento.

#### **La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT)**

La técnica de la solución nutritiva recirculante conocida como NFT (Nutrient Film Technique, fué desarrollada en la década del sesenta por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra. Desde esa época, este sistema de cultivo, destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad, se ha desarrollado y difundido por un gran número de países, donde existen condiciones limitantes de suelo y un mercado promisorio para suplir con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad. (Rodríguez, 2,002 (22)).

La ventaja que destaca la técnica NFT en relación a otros sistemas hidropónicos, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas , en un corto período de cultivo como también en rendimiento. La constante oferta de agua y elementos minerales permite a las plantas crecer sin estrés y obtener el potencial productivo del cultivo. La desventaja que ésta técnica pueda tener es que requiere de una mayor inversión (Rodríguez, 2,002 (22)).

El desarrollo de la técnica NFT, ocurrido en los países del hemisferio norte, ha requerido invertir en materiales y equipos de alto costo, lo que limitó su aplicación en América Latina y el Caribe. Sin embargo, actualmente, es posible lograr implementar ésta técnica de cultivo con insumos de menor precio, a través de la utilización de la madera, diferentes tipos de plástico (PVC, poli estireno, poliuretano) y bombas de agua de costo reducido, además

actualmente las sales fertilizantes de alta solubilidad requeridas para la preparación de la solución nutritiva se encuentran en el mercado local (Rodríguez, 2,002 (22)).

#### **A. Requerimientos de la técnica hidropónica Solución Nutritiva Recirculante.**

La técnica consiste en recircular en forma permanente una lámina fina de solución nutritiva que permite, tanto la oxigenación de las raíces, como también el aporte de sales nutritivas y agua al cultivo durante su período de crecimiento.

Esta lámina, idealmente, no debería alcanzar una altura superior a los 4 ó 5 mm, para favorecer así la aireación de la solución y de las raíces (Carrasco, 1,997 (8)).

El flujo recomendado para esta técnica hidropónica de cultivo es de aproximadamente 2 litros por minuto. Este caudal permite que las raíces de las plantas posean una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes.

La solución nutritiva principalmente se oxigena al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce la turbulencia. Así, se recomienda permitir la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de solución en el estanque (Carrasco; Izquierdo, 1,996 (9)).

La pendiente longitudinal de los canales de cultivo permite el retorno de la solución nutritiva al estanque colector. Generalmente esta oscila aproximadamente en un 2 % (Carrasco 1,997 (8)).

Esta técnica puede establecerse ya sea al aire libre, como también bajo condiciones de invernadero. Es recomendable que el invernadero ó el lugar donde se colocó el sistema este cercano a la fuente de agua y a la eléctrica (Rodríguez, 2,002 (22)).

#### **B. Componentes del sistema de la técnica de solución nutritiva recirculante**

**Estanque colector**, tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. **Canales de cultivo**, permiten el sostén a las plantas de cultivo en este sistema. Además permiten que la solución nutritiva pase en forma expandida a través de ellos y tomen contacto con la solución nutritiva. **La bomba** permite impulsar la solución nutritiva en forma permanente desde el estanque colector hacia la parte más alta de los canales de cultivo. **La red de distribución** permite que la solución nutritiva llegue desde la bomba hacia los canales de cultivo. **La tubería colectora** recibe la solución nutritiva desde los

canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque colector. Esta se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura interior de los canales, de esta forma la solución nutritiva se oxigena al caer por gravedad. Estos componentes son mostrados por la figura 1.

**Figura 1 Componentes del sistema de solución nutritiva Recirculante.**

- Estanque distribuidor y colector.
- Canales de cultivo.
- Bomba inyectora de la solución.
- Red de distribución.
- Tubería Colectora.



### **3.1.5. Nutrición de las plantas**

#### **A. Elementos Nutricionales de las Plantas**

Para conseguir que la planta tome los nutrientes de forma óptima es necesario que estos se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la disolución fertilizante. De esta forma se evitan fenómenos negativos como efectos osmóticos y antagónicos que perturban la absorción de nutrientes por la planta. (Bertsch, 1,998 (4))

#### **CHO**

Los nutrimentos que la planta utiliza en mayor cantidad Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, los obtiene principalmente del aire y del agua, aunque pueden tomarlos también del suelo a partir del CO<sub>2</sub> disuelto en agua, de los OH de los carbonatos.

## **Nitrógeno**

Es absorbido por las plantas casi exclusivamente en forma de nitratos ( $\text{NO}_3$ ), y en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ); soluble en agua. En hidroponía la mayoría del nitrógeno se proporciona en base a nitratos. El amonio en la mayoría de los casos solo se usa como fuente suplementaria ya que elevadas concentraciones de este Ion puede causar daños fisiológicos a las plantas (Bautista, 2,000 (3)).

Este elemento es el componente fundamental de todas las moléculas orgánicas como las proteínas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal. (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Fósforo**

Asimilado por las plantas como ion fosfato. Las principales fuentes son superfosfato de calcio simple es la más usada, Superfosfato de calcio triple, fosfato de amonio y fosfato diamonico (Bautista, 2,000 (3)).

Forma parte de la molécula transportadora de alta energía ATP, por lo tanto, participa en todos los procesos metabólicos que involucran energía (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Potasio**

Sus principales fuentes son el nitrato de potasio, sulfato de potasio MOP (0-0-60 ó cloruro de potasio) (Bautista, 2,000 (3)). En su totalidad se encuentra en forma iónica y móvil dentro de la planta. Participa en casi todos los procesos, respiración, fotosíntesis, en la síntesis de azúcares a nivel celular, apertura y cierre de los estomas (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Calcio**

Las principales fuentes de calcio son; Superfosfato simple , sulfato de calcio (yeso), cloruro de calcio (Bautista, 2,000 (3)).

Participa en la formación de membranas celulares y de estructuras lipídicas, en el transporte de proteínas. Constituye como Pectatos de Ca en las láminas medias, la parte cementante de las paredes celulares (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Azufre**

Utilizada por las plantas en forma de sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ); Sus principales fuentes son Sulfato de amonio, Sulfato de potasio, Superfosfato simple, Sulfato de magnesio, Sulfato de calcio (Bautista, 2,000 (3)).

Forma parte de las proteínas como integrante de los aminoácidos azufrados cistina, cisteína y metionina.

## **Magnesio**

Sulfato de magnesio, su principal fuente para ser utilizada en hidroponía (Bautista, 2,000 (3)). Forma parte de la molécula de clorofila, por lo tanto es determinante sobre la fotosíntesis.

## **Hierro**

Su principal fuente Sulfato ferroso, donde la solución debe tener un pH menor de seis para disolver bien (Bautista, 2,000 (3)).

Actúa como activador enzimático en la síntesis de clorofila (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Manganeso**

Es proporcionado como Sulfato, Cloruro ó Quelato (Bautista, 2,000 (3)). Actúa como activador enzimático en la respiración y en el metabolismo del N, en este caso activando las reductazas (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Boro**

Se asimila como borato ( $\text{BO}_3^-$ ); sus principales fuentes el ácido bórico y el bórax (tetraborato de sodio) (Bautista, 2,000 (3)). Su papel específico no está completamente claro, pero afecta muchos procesos en forma indirecta (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Cobre**

Sus principales fuentes son el sulfato y cloruro de cobre (Bautista, 2,000 (3)). Es componente de diferentes enzimas fenolasas, lactasas y de la oxidasa del ácido ascórbico, así como de ciertas proteínas presentes en el cloroplasto, de aquí que participa en la fotosíntesis (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Zinc**

Se aporta como cloruro de zinc (Bautista, 2,000 (3)). Actúa como activador de varias enzimas, desde ellas muy importantes: la anhidrasa carbónica y la deshidrogenasa alcohólica, así como de enzimas transportadoras de fosfatos, interviene en la síntesis de la hormona de crecimiento como ácido indolacético (AIA), a nivel de su precursor, el triptófano (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Molibdeno**

Es requerido en pequeñas cantidades, se encuentra como impurezas en otros fertilizantes y por lo tanto no requiere de ninguna fuente adicional (Bautista, 2,000 (3)).

Esta fuertemente relacionado con el metabolismo del N, interviene en la fijación de N gaseoso a nivel de organismos fijadores del sistema de la reductasa del N (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Níquel**

Ha sido recientemente incorporado como elemento esencial (Bertsch, 1,998 (4)).

## **Cloro**

Con una única función reconocida actualmente, pero sin duda alguna muy importante, el Cl estimula la fase luminosa de la fotosíntesis (Bertsch, 1,998 (4)).

## **B. Deficiencias Nutricionales**

### **Deficiencia de N**

El síntoma más característico de esta deficiencia es la clorosis, que debido a la gran movilidad de este elemento, aparece primero en las hojas viejas. Según su intensidad el problema puede llegar a ascender y generalizarse. En algunas plantas puede observarse una coloración púrpura en los pecíolos y nervios de las hojas, debido a la formación de pigmentos antocianicos (Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de P**

Uno de los primeros síntomas que se observan cuando falta P es una coloración verde oscura ó azulada en las hojas. Otro síntoma es la formación de pigmentos antocianicos que confieren a la hoja coloraciones púrpura. Por la gran movilidad del elemento, las hojas viejas son las primeras en presentar los síntomas, Con frecuencia, tiende a presentarse un estado general de achaparramiento ((Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de K**

El síntoma general mas característico de la deficiencia de K es la aparición de un moteado de manchas cloróticas, seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y los bordes de la hoja. Estos síntomas suelen aparecer primero en las hojas maduras debido a la gran movilidad del K en la planta. En general, una deficiencia de K produce en la planta un aspecto achaparrado debido al acortamiento de los entrenudos ((Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de Ca**

Debido a la alta inmovilidad de este elemento y a su función de rigidez, el síntoma característico es la malformación de las hojas jóvenes, que toman forma de gancho ó de cuchara en la punta de las hojas. Las regiones meristemáticas de los tallos, hojas y raíces son afectadas y terminan muriendo. Las raíces pueden acostarse y en los bordes de las hojas jóvenes aparece clorosis seguida de necrosis (Bertsch, 1,998 (4))

### **Deficiencia de Mg**

El síntoma más común conocido es la clorosis, localizada en forma intervenal, que se hace visible, en primer lugar, en las hojas basales y se propaga a las hojas jóvenes a medida que la deficiencia se hace más aguda. Esto porque, al igual que los anteriores elementos, goza de buena movilidad dentro de la planta. Sin embargo, la variabilidad en los síntomas que presentan las diferentes especies es tan grande que se hace difícil establecer síntomas generales. (Bertsch, 1,998 (4))

### **Deficiencia de S**

Los síntomas de la deficiencia de S, son parecidos a los de la deficiencia de N, ya que se presenta una clorosis general seguida, en algunas especies, por la producción de pigmentos antocianicos. Hay una diferencia fundamental, pues debido a la inmovilidad de este elemento dentro de la planta, los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes (Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de Mn**

Los síntomas de deficiencia de Mn varían mucho de una especie a otro, aunque lo mas frecuente suele ser una clorosis intervenal permaneciendo verde la vena central, secundarias y terciarias lo que da un aspecto de redecillas en la hoja afectada, pudiendo aparecer manchas necróticas en las hojas jóvenes ó viejas (Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de Zn**

Los primeros síntomas corresponden a una clorosis localizada entre las venas de las hojas más viejas que se puede iniciar en los ápices y en los bordes. Se produce un retardo en el crecimiento que se manifiesta en forma de hojas más pequeñas y entrenudos más cortos. El aspecto irregular de las hojas es de síntoma más fácil de reconocer. La planta entera adquiere un aspecto de roseta (Bertsch, 1,998 (4)).

### **Deficiencia de Cu**

Esta deficiencia suele provocar una necrosis en el ápice de las hojas jóvenes que progresa a lo largo del margen de la hoja, desarrollando los bordes. Las hojas pueden presentar clorosis y puede producirse la muerte de los brotes jóvenes. (Bertsch, 1,998 (4))

### **Deficiencia de Fe**

Debido a la relativa inmovilidad del elemento, el síntoma más característico es una clorosis general de las hojas jóvenes, que puede comenzar como intervenal, pero que al cabo de tiempo también las venas acaban perdiendo la clorofila. (Bertsch, 1,998 (4))

### **Deficiencia de B**

Debido a su inmovilidad, los síntomas se presentan en primer lugar en las zonas más jóvenes, tanto de raíces como de tallos y los ápices pueden acabar muriendo. Las hojas presentan texturas duras ó coráceas y los tallos ya se vuelven quebradizos y agrietados. No llegan a formarse las flores. (Bertsch, 1,998 (4))

### **Deficiencia de Mo**

Los síntomas más visibles, pueden empezar como un moteado clorótico intervenal de las hojas inferiores, seguido por una necrosis marginal y el encurvamiento de las hojas. (Bertsch, 1,998 (4))

### **C. Clasificación de fertilizantes**

**Fertilizantes simples.** Son los fertilizantes químicos ó físicos que contienen un solo nutriente, ejemplo: La urea, triple superfosfato. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

**Fertilizantes compuestos.** Son los fertilizantes químicos o físicos que contienen dos ó más nutrientes, ejemplo: nitrato de potasio, sulfato de potasio. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

### **Características de los fertilizantes**

**Concentración.** Conociendo la concentración por unidad de fertilizante, se puede calcular fácilmente la cantidad que se debe aplicar para satisfacer una demanda del nutrimento de que se trate. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

**Reacción ácida ó alcalina en el suelo ó agua.** La acidez, alcalinidad ó neutralidad de los fertilizantes, se refiere a la reacción final de ellos en el suelo incluyendo su influencia en los cambios de pH de la solución del suelo.

Si aumenta el pH será de reacción alcalina, si disminuye los valores de pH será de reacción ácida y si no tiene un efecto sobre este parámetro del suelo, será de reacción neutra. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

**Higroscopicidad.** Es la capacidad de ciertas sustancias de absorber el agua ó la humedad relativa del ambiente. Esta característica se asocia comúnmente con la aglomeración ya que al absorber agua las partículas se solubilizan y al secarse se unen entre si dando como resultado final el aterronamiento. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

**Aglomeramiento.** Es el producto final de la higroscopicidad, se evita usando envases con polietileno para que no penetre la humedad y su almacenamiento debe realizarse en lugares secos y ventilados. (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 1,995 (27))

### **Tipos de presentación de fertilizantes.**

Existen muchas formas en las cuales se pueden presentar los fertilizantes: sólidos, los cuales pueden ser en gránulos y polvos; en forma de gases y líquidos.

### **Quelato**

Es una palabra griega que significa garra. Se utiliza para neutralizar la carga positiva de los micro nutrientes con lo cual los hace que pierdan su actividad química y por lo tanto puedan ser usados en el suelo y de forma foliar. Dentro de la planta, las enzimas descomponen el quelato y sacan los elementos para que ejerzan su función en el metabolismo de la misma. ( Estrada, 2,001 (13))

### **3.1.6. Fisiología de las plantas cultivadas en hidroponía.**

Las plantas crecen, se desarrollan en dos medios físico-químico diferentes; la parte aérea (tallos, hojas, flores, frutos) en la atmósfera y la porción subterránea (raíces) en el suelo.

Las dos porciones de la planta mantienen una relación vital, desde el punto de vista nutricional; la parte aérea, la cual fabrica sustancias orgánicas necesarias para el crecimiento de toda la planta; las raíces absorbiendo agua y nutrientes minerales del suelo ó sustrato.

Esta interdependencia ha dado lugar a una organización muy especial para mantener un constante flujo de nutrientes hacia arriba y hacia abajo de la planta.

Las características de ambos medios con sus componentes, van a determinar de que manera las plantas van a responder en términos de crecimiento y desarrollo.

El genotipo, característica genética de cada especie ó variedad interacciona con el medio ambiente, incluyendo el suelo, dentro del cual crece y se desarrolla para expresarse como fenotipo morfológico (una forma definida de la planta).

Este fenotipo actúa sobre los procesos metabólicos y fisiológicos, morfogenéticos. Esta reacción genotipo-ambiente es la que finalmente va a determinar la productividad de la especie cultivada (MORENO REYES. Curso taller Internacional de Hidroponía, 1,997 (18)).

Las mismas fuerzas ligadas a la productividad en la naturaleza actúan de diferente manera en la agricultura; la productividad agrícola en la mayor parte del mundo está muy por debajo de su máximo potencial; ambientes desfavorables y climas adversos reducen los rendimientos ( MORENO REYES. Curso taller Internacional de Hidroponía, 1,997 (18)).

Así mismo se pueden también construir sistemas hidropónicos abiertos ó cerrados; grandes ó pequeños; en forma casera en los jardines, patios, balcones y azoteas ó en forma industrial, teniendo como objetivo que las plantas desarrollen su máxima potencialidad de productividad. (MORENO REYES. Curso taller Internacional de Hidroponía, 1997 (18)).

El micro ambiente atmosférico ó micro clima que rodea a una planta ó a un cultivo impacta sobre todo en su desarrollo, por la acción de sus componentes, como: la luz en cuanto a su calidad intensidad y duración, el foto período, nictoperíodo, la temperatura; la humedad relativa; la concentración de CO<sub>2</sub> componente de la fotosíntesis; y todos los factores extremos que puedan darse como bajas ó altas temperaturas, estrés hídrico.

La morfología y los hábitos de crecimiento de algunas plantas, características de su especie y genotipo, se deben de tomar muy en cuenta para ser usadas en la producción en hidroponía. Cada uno de los órganos de las plantas que se desea cultivar, raíces, hojas, flores, frutos ó tallos, deben de manejarse a lo largo de su desarrollo ontogénico, desde la germinación hasta su cosecha (MORENO REYES. Cuso taller Internacional de Hidroponía, 1,997 (18)).

### 3.1.7. El cultivo de la Lechuga.

Esta planta pertenece a la familia de las compuestas, considerada una hortaliza de la que se consume sus hojas por la gran fuente de minerales que posee, lo cual la hace ser una planta muy importante dentro de la dieta humana. Es una especie de período vegetativo de 50 a 90 días, constituida por una roseta de hojas grandes y sueltas, cuyo color varia entre crema, verde amarillento, verde oscuro y verde (Bautista, 2,000 (3)).

Este cultivo es típico de climas templados, se desarrolla también en climas cálidos por lo que puede cultivarse en altitudes que van de 300 a 670 msnm, pero su desarrollo óptimo es entre los 1,350 a 2,100 msnm. Es susceptible a heladas. Las temperaturas mayores a 24 °C, aceleran el desarrollo del tallo floral y deterioran la calidad, pues con el calor se acumula en la planta un látex, que hace amargo el sabor de su hojas, requiere buena humedad en el suelo, pero no le favorece el exceso de lluvia ó riego (Bautista, 2,000 (3)).

En el cuadro 4 se presenta rangos de algunos elementos esenciales para el cultivo de lechuga, citados por Bertsch, 1,998 (4).

**Cuadro 4 Requerimientos Nutricionales del cultivo de lechuga.**

<b>Elemento</b>	<b>Rango optimo</b>	<b>Concentración</b>
N	4.5 – 5.5	%
P	0.5 – 1.0	%
K	7.5 – 9.0	%
Ca	2.0 – 3.0	%
Mg	0.5 – 0.8	%
S		%
Bo	23 – 50	ppm
Cu		ppm
Fe	50 – 100	ppm
Mn	15 – 250	ppm
Zn	25 – 250	ppm
Mo		ppm

**Fuente. Bertsch. 1998.**

## **A. Variedades de lechuga.**

A continuación se describen algunas características de las variedades de lechugas más demandadas en el mercado local como internacional, las cuales fueron utilizadas en este experimento.

### **Salinas**

Del tipo repollada, tamaño de cabeza medio ó grande, compactas, firme y suave textura.

Se cosecha a los 70 días después del transplante. Muestra un color verde oscuro uniforme y corazón corto.

Presenta aceptabilidad para mercados a granel y para exportaciones, generalmente utilizada para ensaladas y cosméticos. (Bautista, 2,000 (3)).

### **Suprema**

Esta variedad es de cabeza y de hojas ligeramente onduladas y presenta gran aceptabilidad para el consumo en ensaladas.

La cabeza que forma es grande, un poco firme, redonda, de color verde claro.

Resistente a la quemadura de las plantas, puede sembrarse todo el año y se cosecha a los 60 días después de transplante.

Esta variedad es muy susceptible al transplante, ya que sus hojas son muy delgadas y presenta poco tejido esponjoso que con los rayos del sol se deshidrata rápidamente.

### **Paris Islam, tipo romana**

Presenta hojas plisadas lisas, largas y curvadas en la punta, por eso se le ha dado el nombre de cos ó romana. No forma cabeza, cuando llega a la madurez lista para ser comercializada adquiere una forma globosa.

Color verde oscuro, tiene un crecimiento y desarrollo de aproximadamente de 70 a 80 días.

Es utilizada para adorno de comidas en restaurantes, su sabor es un poco amargo que la lechuga común ó repollada.

Tolera temperaturas altas y se puede cultivar en climas semicálidos con variaciones estacionales bien marcadas. (Bautista, 2,000 (3)).

### **Grand Rapids, escarola verde**

Presenta sus hojas sueltas, arrugada ó rizadas y presenta la forma más ó menos de una rosa.

Una variedad precóz y se adapta a climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varia según su cuidado y las condiciones climáticas prevalecientes.

Presenta una coloración verde pálido pero su forma es muy agradable. La base del tallo es más ó menos delgada y la formación de las hojas es de mayor forma espiralada.

Su periodo de crecimiento y desarrollo en condiciones adecuadas es de 60 días después de transplanté. (Bautista, 2,000 (3)).

Esta variedad es la que presenta mayor aceptabilidad para decoraciones de alimentos en restaurantes y se puede consumir como ensalada.

### **Sesam, escarola morada**

Sus hojas son sueltas, rizadas y presenta la forma de una rosa. Una variedad precoz, se adapta a climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varia según su cuidado y las condiciones climáticas donde se desarrolla.

La característica de esta variedad es su coloración morada ó rojiza, de un aspecto muy agradable. Esta variedad presenta buena aceptabilidad en el mercado para decoraciones de platillos en restaurantes ó bien es apetecible en el mercado para ensalada, ya que sus hojas son vendidas en los supermercados ó bien empacada para su consumo en fresco. (Bautista, 2,000 (3)).

## **B. Mercado del cultivo de la lechuga**

La mayor parte de lechuga se siembra con la finalidad de exportarla ó venderla en nichos establecidos de mercado como restaurantes, comedores y supermercados.

La exportación guatemalteca es principalmente hacia Centro América (El Salvador y Honduras), debido al crecimiento del mercado de este producto en Guatemala en los últimos 10 años se ha desarrollado un crecimiento en área y en producción del cultivo de la lechuga como se indica en la Figura 4 de anexos.

Como consecuencia de que es un producto muy perecedero, en la mayoría de ocasiones, ya se tiene por medio de “palabra”, establecidos la cantidad y el precio de compra.

Cuando el producto no cumple con la calidad requerida para estos mercados, la exportación se rechaza, entonces este producto es dirigido a la central de mayoreo, ó zona 4 de la ciudad de Guatemala donde se concentra y se define el precio del producto que satisface la demanda del consumidor nacional (Sagastume, Revista Agricultura Año III, No. 33 (24)). El mercado de pequeños compradores ó por mayoreo para consumo en fresco, tanto en los puestos del centro de mayoreo zona 12 y zona 4 ciudad de Guatemala, las variedades de lechuga más demandadas son, las que forman cabeza, las de hojas lisas y las colochas rizadas ó escarolas que son consumidas para adorno y ensalada.

La demanda en los supermercados del país, contemplan las variedades de lechuga, las que forman cabeza, hojas largas lisas y las colochas ó rizadas verdes y moradas, todas con un precio mayor debido a que ya han tenido un proceso de almacenamiento, desde el empaclado por unidad y el empaclado en bolsas conteniendo hojas de varias variedades y colores.

## **C. Manejo Agronómico Del Cultivo**

### **a. Preparación de semilleros**

Para realizar el semillero, se puede utilizar una caja de madera colocada sobre una mesa, llena de sustrato ya sea arena blanca fina ó una mezcla de arena y cascarilla de arroz u otro tipo de sustrato.

Es necesario que antes de sembrar las semillas se desinfecte el sustrato a utilizar y así prevenir el ataque de hongos ó bacterias que puedan provocar problemas en el desarrollo del cultivo. Es recomendable utilizar fungicida y una estreptomycinina para controlar hongos y bacterias.

Después de la desinfección debe esperar un tiempo de más ó menos 10 días para que no hayan residuos del desinfectante, para que no influya en el desarrollo de la semilla.

Previo a la siembra debe humedecerse muy bien el sustrato con agua.

A lo ancho de las cajas de siembra se procede a realizar zanjas de 1 centímetro de profundidad y de 8 centímetros entre surcos.

Se cubre con sustrato las semillas y se realiza un riego profundo con regadera.

Se cubre la caja de siembra con algún material que mantenga la humedad que será removida al momento que las platas presenten el 50 % de germinación.

Durante la germinación al transplante se deben regar las semillas y luego las plántulas para mantener una buena humedad que podría ser diario según la humedad del sustrato.

Es necesario que se aplique alguna solución de nutrientes mayores N, P, K para ayudar a la plántula en su requerimiento de nutrientes en su desarrollo.

Realizar alguna aplicación de algún fungicida, para prevenir la presencia de algún hongo que dañe el desarrollo del cultivo. (Samperio Gloria, 1,999 (25))

### **b. Transplante**

A las cuatro semanas de germinada la semilla ó cuando hayan alcanzado el estado de 4 a 5 hojas verdaderas se procede al transplante al sistema definitivo de cultivo. (Rodríguez, 2,000 (22))

### **c. Cosecha**

Se cosecha cortando al ras de la raíz dejando una porción del tallo y es necesario que se dejen algunas hojas exteriores en buen estado para que protejan la parte comestible y comercial de la planta, después de 60 días máximo esto depende del tipo y variedad.

Si se realiza empacado se hace, lavando cuidadosamente la planta para después empacarla con nylon ó si es para algún consumo especializado, pueden empacarse las hojas de las lechugas únicamente para venderlas como ensaladas.

## **3.1.8. Indicadores para el análisis Económico de la producción.**

### **Rentabilidad**

Es el excedente de ingreso total por encima de los costos totales de producción, normalmente es expresado en %.

$$R = \frac{IT - CT}{CT} * 100$$

R, rentabilidad

IT, ingreso total

CT, costo total

## **3.2. MARCO REFERENCIAL**

### **3.2.1. Localización del área experimental.**

La presente investigación se realizó en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA) Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12, ubicada a 14°33'11" latitud Norte 90°35'58" longitud Oeste, a una altura de 1502 msnm (Fajardo, 2,000 (14)) en los meses de julio a noviembre del año 2,003. En la figura 1 de anexos se muestra un mapa de la ubicación del área experimental.

### **3.2.2. Condiciones climáticas del área experimental**

Guatemala esta dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado (Bh-st). El área de estudio posee una precipitación media anual de 1,216.2 msnm distribuidos en 110 días durante los meses de mayo a octubre, temperatura media anual de 18.3 °C, humedad relativa de 79% y con una insolación promedio de 6.65 horas por día (Fajardo, 2002 (14)).

### **3.2.3. Antecedentes del cultivo de lechuga, producido en un sistema hidropónico.**

Bautista, 2,000 (3), determinó el rendimiento en peso fresco de las variedades de lechuga, Salinas, Boston, Romana y Grand Rapids, utilizando un sistema hidropónico en agregado ó sustrato, utilizando este sistema acondicionado a la huerta hidropónica..

Después de realizar el análisis de varianza a la variable rendimiento en peso fresco, determinó que el mayor rendimiento en peso fresco fué producido por la variedad de lechuga Salinas, que produjo un rendimiento de 5.43 kg por unidad experimental de 0.774 m<sup>2</sup>.

Los rendimientos de las otras variedades fueron en su orden descendente: variedad Romana con 4.92 Kg, variedad Grand, Rapids 3.69 Kg y variedad Boston con 3.03 Kg de producción en 0.774 m<sup>2</sup>.

Bautista, determinó el contenido nutricional de las variedades, sus resultados fueron que la variedad Grand Rapids fué la que presentó el contenido nutricional de calcio, fósforo, sodio y potasio, del orden de 75.6 mg/100g Ca, 52 mg/100g P y 20 mg/100g Na respectivamente.

Con respecto al hierro y magnesio, la variedad Romana tuvo mayor contenido, 1.9 mg/100g y 55.0 mg/100g respectivamente.

La rentabilidad del proyecto fué del 50 %, con un costo total de implementación y operación de la huerta hidropónica de Q.1,598.50

Castañeda, 1,997 (10), realizó un trabajo enfocado a la producción de frutas y hortalizas, a través de un sistema de cultivo sin tierra. El objetivo de este trabajo fué 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.

El trabajo de investigación fué desarrollado en cinco etapas, en las cuales fueron evaluados varios aspectos de la hidroponía, utilizando los cultivos de lechuga y rábano:

La primera etapa se dedicó al análisis de los materiales que se podrían utilizar como sustratos, observando y determinando algunas de las características de estos materiales para ser utilizados con un sustrato.

La segunda etapa fué el procedimiento de preparación y utilización de una solución nutritiva para cultivos hidropónicos.

La tercera etapa fué dedicada al estudio y implementación del sistema de cultivo hidropónico más adecuados para la producción de hortalizas.

La cuarta etapa fué la parte experimental del proyecto determinando el efecto del sustrato y la concentración de la solución de nutrientes, sobre el rendimiento y calidad de los cultivos de lechuga y rábano.

Y la quinta etapa consistió en el análisis económico de los cultivos desarrollados en un sistema hidropónico.

En conclusión Castañeda, 1,997 (10) muestra que el rendimiento de los productos obtenidos por el sistema de hidroponía, es influido por la variación de los nutrientes contenidos en la solución nutritiva, el sustrato no presentó efectos en el rendimiento de los productos (recomendando como mejores sustratos para ser utilizados en combinación, la cascarilla de arroz, con arena blanca ó pómez) y la rentabilidad de un sistema hidropónico demostró que es viable aplicarlos a nivel doméstico ya que presentaron índices de rentabilidad

que variaron entre 70 y 130 %. Obteniendo un rendimiento promedio de lechuga de 5.77 Kg/m<sup>2</sup> peso fresco.

Barrera García, 2,002 (2) realizó un experimento con los objetivos de diseñar el sistema NFT utilizando materiales de desperdicio ó no utilizables en la finca, desarrollar una metodología de manejo para el cultivo de lechuga para las condiciones del lugar, así como determinar los costos de este sistema principalmente.

Para esto evaluó cuatro variedades, una que forma cabeza que no tuvo un desarrollo adecuado por falta de adaptación; las otras tres variedades de lechuga que utilizó presentaron una buena adaptación al sistema, mostrando a los cincuenta días después de transplante un peso fresco de: 427 g/planta para la variedad romana; 183 g/planta para la variedad escarola verde y 357 g/planta para la variedad escarola morada.

Cabria; Coronado; Domínguez, 2,000 (7), realizaron esta investigación bajo condiciones de invernadero en la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), en el año 2,000, durante un período de 65 días después de transplante.

La finalidad fué de conocer la dinámica de acumulación de nutrientes en el desarrollo fenológico del cultivo, para establecer la combinación de solución nutritiva y sustrato que produce el mayor incremento en peso de cabeza.

Utilizaron como sustrato arena blanca y arena blanca más cascarilla de arroz con relación 1:1, utilizando las soluciones nutritivas, INCAP, ELLIS SWANEY y una solución a base de reactivos de laboratorio.

Los resultados que obtuvieron fueron que la dinámica de acumulación de macro nutrimentos indica que los elementos de mayor absorción por parte del cultivo de lechuga son potasio y nitrógeno. La dinámica de acumulación de micro nutrimentos indica que los elementos de mayor absorción por parte del cultivo son hierro y manganeso.

Determinaron que la solución nutritiva Ellis Swaney reporta mayor contenido de manganeso en todos los sustratos evaluados y que para el cultivo de lechuga hidropónica bajo condiciones de invernadero no existe diferencia en utilizar cualquiera de los dos sustratos.

### 3.2.4. Solución nutritiva La Molina

Rodríguez; Hoyos; Chang, 2001 (21) mencionan que la solución nutritiva La Molina fue formulada en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Comentan que en la actualidad sugiere el uso de dos soluciones concentradas modificadas denominadas A y B.

La solución concentrada A contiene nitrógeno, fósforo, potasio y calcio; la solución concentrada B aporta, magnesio, azufre, hierro, cloro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno.

Las soluciones A y B de La Molina se prepara con los siguientes fertilizantes, que pueden encontrarse en el mercado.

#### **Solución concentrada A**

**para preparar 5 litros de solución.**

Nitrato de potasio	13.5% N, 45% K <sub>2</sub> O	550 g.
Nitrato de amonio	33% N	350 g.
Superfosfato triple	45% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 20% CaO	180 g.

#### **Solución concentrada B**

**para preparar 5 litros de solución**

Sulfato de magnesio	15% MgO, 13% S	220 g.
Quelato de hierro	6% Fe	17 g.
Solución de micro nutrientes		400 ml.

**Preparación de la solución concentrada de micro nutrientes:**  
**para disolver en 200 ml de agua destilada, aproximadamente, una por una**  
**de las siguientes sales en el orden indicado y llevar a un volumen final de**  
**un litro.**

Sulfato de manganeso $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.0 g.
Acido bórico $\text{H}_3\text{BO}_3$	3.0 g.
Sulfato de zinc $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.7 g.
Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.0 g
Molindato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}$	0.2 g.

Según Rodríguez; Hoyos; Chang, 2,001 (21), la solución nutritiva se puede preparar a través de soluciones concentradas ó stock. Una solución concentrada contiene varios nutrientes en altas concentraciones y no pueden ser suministrados directamente a la planta. Se toman pequeños volúmenes de la solución concentrada para preparar la solución nutritiva.

## **4. OBJETIVOS**

### **Generales**

Evaluar cinco variedades de lechuga, por medio de su rendimiento y rentabilidad, producidas con la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante (NFT).

### **Específicos**

Establecer el rendimiento de cinco variedades de lechuga, mediante su peso seco al final de cosecha, cultivada con la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante.

Obtener la rentabilidad de cada una de las cinco variedades de lechuga, con la técnica Hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante.

## **5. HIPOTESIS**

Se espera que las variedades de lechuga Romana, Suprema, Escarola Verde y Escarola Morada presenten una mejor adaptabilidad a la Técnica de Solución Nutritiva Recirculante NFT, por lo que mostrarán un mayor incremento en su peso seco y rentabilidad en comparación a la variedad Salinas (testigo).

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1. Estructura del sistema de la técnica de nutrición nutritiva recirculante (NFT)**

#### **6.1.1. Estanque colector**

Se utilizó un recipiente de plástico con una capacidad de 200 litros. El tamaño en función del volumen según los requerimientos del cultivo por día, en el caso de lechuga requiere 0.3 litros /día / planta (Carrasco, 1,997 (8)).

Debió permanecer tapado, con cubiertas opacas que eviten el sobrecalentamiento de la solución.

#### **6.1.2. Canales de cultivo**

Los canales de cultivo estuvieron constituidos por 20 tubos de PVC de diámetro de 3 pulgadas con un largo de 3 metros.

A cada uno de ellos se le abrieron agujeros circulares, aproximadamente 15 agujeros por tubo con un diámetro de 2 pulgadas, separados a 0.2 m cada uno.

Los canales de cultivo en un extremo se taparon con cinta tapa gotera y el otro extremo estará comunicada a la tubería de recolección unidos por una T.

Todos los canales de cultivo reposaron sobre dos bases de madera, que las sostuvo, los canales tuvieron una pendiente de 2 % con una altura del suelo de 0.6 metros.

#### **6.1.3. Sistema de suministro de nutrientes**

Se utilizó un bomba sumergible eléctrica, de 1/10 de HP con una carga de 7 mca ya que solo se necesitaba una carga de 2 mca en todo el sistema.

#### 6.1.4. Red ó tubería de distribución

Se uso para esto, dos tubos de PVC de ½ pulgada de 2.50 metros de largo, unidos por una T, a los cuales fué conectado otro tubo de ½ de 4 metros unido a la instalación de salida de la bomba.

Sobre los primeros dos tubos de ½ , fuéron instalados conectores con mangueras de salida que fuéron incrustadas sobre otros conectores a los extremos de los canales de cultivo que se cubriéron con la cinta tapa gotera, ya que por esta instalación corría la solución nutritiva del estanque colector a los canales de cultivo.

#### 6.1.5. Tubería Colectora

Se hizo utilizando T y pedazos de tubos de PVC de 3 pulgadas. Esta tubería se encuentra en las salidas ó partes de menor pendiente de la tubería de conducción, la cual colecta la solución nutritiva y la devuelve al tanque ó estanque colector.

### 6.2. Solución Nutritiva

La solución nutritiva que se utilizó para la producción de lechuga en la técnica de solución nutritiva Recirculante fué la llamada, La Molina debido a que es una solución que lleva algunos años en estudio y es específica para el cultivo, su concentración de nutrientes se expresa en el cuadro 5.

**Cuadro 5 Solución nutritiva La Molina, para lechuga y sus concentraciones en ppm. (mg/litro)**

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Mo</b>
154	36	260	150	45	70	1.0	0.5	0.5	0.15	0.10	0.05

**FUENTE: Rodríguez; Hoyos; Chan, 2001.**

Los fertilizantes utilizados en la preparación de la solución nutritiva, fueron fertilizantes líquidos quelatados por su alta solubilidad y su cero probabilidad de precipitados en la solución. La concentración de cada uno de ellos se presenta en el cuadro 6.

Las cantidades para preparar un litro de solución nutritiva se encuentran en el cuadro 7.

Para completar el requerimiento de azufre y nitrógeno se agregaron 0.14225 gramos de sulfato de amonio soluble por litro de solución.

**Cuadro 6 Concentraciones de elementos en p/p, de los fertilizantes líquidos.**

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
<b>Micromins N-liq.</b>	22											
<b>Micromins P-liq.</b>		46										
<b>Micromins K-liq.</b>			10									
<b>Micromins Magnesio</b>				5		4						
<b>Micromins Cobre</b>				3				5				
<b>Micromins Hierro</b>				3					5			
<b>Micromins Manganeso</b>				3						5		
<b>Micromins Zinc</b>				3							7	
<b>Micromins Moly</b>												4
<b>Micromins Boro</b>							10					
<b>Nitromax</b>					12							

Fuente: Químicas Stoller.

**Cuadro 7 Cantidades de fertilizantes, en cc para preparar un litro de Solución.**

<b>Producto</b>	<b>Cantidad en cc</b>
Micromins Nitrógeno Liquido	<b>0.5</b>
Micromins Fósforo Liquido	<b>0.0584</b>
Micromins Potasio Liquido	<b>2.4</b>
Micromins Magnesio	<b>0.72</b>
Micromins Cobre	<b>0.0018</b>
Micromins Hierro	<b>0.0018</b>
Micromins Manganeso	<b>0.0083</b>
Micromins Zinc	<b>0.002</b>
Micromins Moly	<b>0.001</b>
Micromins Boro	<b>0.0038</b>
Nitromax Ca	<b>0.96</b>

### **6.3. Material Vegetal**

Las variedades de lechuga que se utilizarón para la investigación fueron:

*Lactuca sativa L.* variedad, Sesam ó escarola morada

Suprema

Grand rapids ó escarola verde.

Paris islan ó romana

Salinas

Distribución de Tratamientos:

T1 Escarola morada

T2 Suprema

T3 Escarola verde

T4 Romana

T5 Salinas ( **testigo** ) variedad más comercial.

.. . . . . ▪ **Diseño Experimental**

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con 4 repeticiones de acuerdo al modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

**En donde;**

**$Y_{ij}$**  variable respuesta medida a la  $ij$ -ésima unidad experimental

**$\mu$**  media general

**$\tau_i$**  efecto del  $i$ -ésima variedad de lechuga.

**$\beta_j$**  efecto del  $j$ -ésimo bloque

**$\varepsilon_{ij}$**  error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

**Unidad Experimental**

Cada canal de cultivo se tomó como una unidad experimental obteniendo 15 plantas de una misma variedad utilizando 60 plantas por variedad lo que hace un total de 300 plantas por las cinco variedades.

**6.5. Manejo del Experimento**

### **6.5.1 Manejo de la solución nutritiva**

La solución nutritiva se preparó agregando las cantidades requeridas en cc en un litro de agua, para tener un volúmen final de un litro a la concentración deseada.

Para fines de la investigación se prepararon cantidades de 200 litros cada vez que se necesitó solución nutritiva.

Es importante mencionar que no es necesario preparar dos soluciones madres como lo sugiere la Molina ya que debido a que los fertilizantes son líquidos quelatados no se tuvo problemas de solubilidad y precipitados. La solución nutritiva fué sustituida cada semana.

#### **Mediciones de pH y CE.**

Las mediciones de pH se realizaron periódicamente cada semana, ya que fué necesario mantener un pH, entre 4 y 6 debido a que en este rango de pH se tiene una buena disponibilidad de nutrientes para ser absorbidos por la planta. Ya que el pH indica como está la concentración de nutrientes en la solución, se observó que si el pH aumentaba, indicaba que las plantas estaban absorbiendo los nutrientes y se tendría que realizar la aplicación de más nutrientes al sistema.

Las mediciones de pH se realizaron utilizando un potenciómetro previamente calibrado. Las mediciones de CE, también se realizaron periódicamente, cada semana, ya que fué necesario medirla para conocer el aumento ó disminución de la concentración de sales en la solución, esto se realizó a través de un conductímetro previamente calibrado.

Tanto las lecturas de pH y CE, se realizaron tomando una muestra de 100 cc de la solución nutritiva, para ser llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, donde se les hizo las mediciones. Se hacían dos lecturas cada semana, una a la solución nutritiva recién formulada y la otra una semana después. Los resultados de estas mediciones se presentan en el cuadro 3 de anexos, ya que sólo se tomaron para generar información de referencia y no se utilizaron para su interpretación de resultados debido a que no existe una comparación con otras soluciones nutritivas.

## **6.5.2. Manejo agronómico del Cultivo**

### **A. Preparación de Semilleros**

El semillero se realizó utilizando bandejas para pilones, utilizando un sustrato de Pit Mohs , previamente desinfectado y tamizado para obtener partículas finas no mayores de 5mm. Al momento de la siembra, previamente se humedeció el sustrato con abundante agua, después de haber sembrado se procedió a cubrir las semillas con sustrato y el semillero con papel periódico. Sobre el papel periódico se aplicó agua a modo de humedecerlo y que fuera un indicador de la humedad del semillero. Se quitó cuando el 50% de las semillas habían germinado. El riego en el semillero fué constante hasta el momento de transplante.

### **B. Transplante**

El transplante se realizó cuando las plantillas tuvieron cinco hojas verdaderas.

Se colocaron las plántulas en cubos de poli estireno ó esponja de baja densidad a los cuales previamente se les hizo un agujero en medio, donde se introdujo la plantilla para ser colocado posteriormente en el canal de cultivo.

Durante 24 horas después del transplante se hizo recircular agua en el sistema mientras las plantas se acondicionaban y después de las 24 horas, se les suministró la solución nutritiva.

### **C. Control de plagas y enfermedades**

Se hicieron muestreos cada tres días para verificar la presencia ó ausencia de las mismas, previniendo la aparición que afectara el desarrollo y crecimiento del cultivo. Durante el desarrollo del experimento no se tuvo ningún problema de plaga ó enfermedad que dañara el cultivo.

## **6.6. Variables a medir**

### **6.6.1 Peso Seco**

Se hizo para determinar el incremento de la masa de cada una de las variedades expresado en gramos. Esto se hizo determinando su peso fresco inicial por tratamiento, luego fué introducido a un horno de convección a 60 ° C por 48 horas, para después determinar su peso seco utilizando una balanza analítica.

### **6.6.2. Costos de producción**

Se realizó un registro de todos los costos de: materiales utilizados, mano de obra, energía consumida y los costos de investigación, para determinar los costos totales, los cuales servirán para determinar la rentabilidad de cada una de las variedades. Utilizando la formula  $R = \frac{IN}{CT} * 100$ . Donde R es la rentabilidad, IN es ingreso neto, CT es costo total.

## **6.7. Análisis de la Información**

### **6.7.1. Peso Seco**

Esta variable se analizó a través de un análisis de varianza para determinar si existen diferencias entre tratamientos. Al existir una diferencia entre tratamientos se hizo una prueba de medias de Tukey para determinar cual es la mejor variedad de lechuga que presente mayor peso seco expresado en gramos.

### **6.7.2. Costos**

Se presenta a través de determinar la rentabilidad de cada una de las variedades de lechuga y su relación beneficio costo.

## 7. PRESENTACION DE RESULTADOS

### 7.1. Rendimiento de la variable peso seco.

En el cuadro 8 se presentan las medias por tratamiento y repetición de las cinco variedades de lechuga evaluadas en el experimento que fueron cosechadas 50 días después de transplante.

**Cuadro 8 Resultados de la variable peso seco en g/planta de las cinco variedades de lechuga**

Tratamientos	Bloques				Medias de Tratamientos
	1	2	3	4	
<b>1 Escarola morada</b>	4.7	13.7	12.16	7.6	<b>9.54</b>
<b>2 Suprema</b>	13.83	19.2	12.71	14.65	<b>15.09</b>
<b>3 Escarola verde</b>	7.76	4.38	6.05	3.21	<b>5.35</b>
<b>4 Romana</b>	14.25	17.51	16.23	9.53	<b>14.38</b>
<b>5 Salinas</b>	12.45	11.89	10.9	11.45	<b>11.67</b>

En el cuadro 8 se observan los rendimientos por tratamientos y repeticiones de cada una de las cinco variedades de lechuga evaluadas, así como la media de rendimiento por tratamiento; mostrando que la variedad Suprema tiene el mayor rendimiento 15.1 g/planta, superior en 3.4 g/planta a la variedad testigo que fue la Salinas la cual obtuvo 11.67 g/planta; sigue la variedad Romana con 14.38 g/planta, con una diferencia mayor en 2.71 g/planta, que el testigo; continua la variedad escarola morada con 9.54 g/planta, con un diferencia menor de 2.13 g/planta que la variedad testigo y por último la variedad escarola verde con 5.25 g/planta, con diferencia menor que el testigo de 6.32 g/planta. Esto indica que dos variedades son superiores al testigo y son la variedad Suprema y Romana. Dos de las variedades tuvieron rendimientos menores al testigo y son las variedades escarola morada y escarola verde.

La información del cuadro 8, se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre variedades y para ello se realizó un análisis de varianza cuyos resultados se muestran en el cuadro 9.

**Cuadro 9 Análisis de varianza de la variable peso seco g/planta.**

<b>FV</b>	<b>Gl</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft 0.05</b>	
<b>Trat</b>	4	250.01577	62.503943	9.1659534	3.26	*
<b>Bloqu</b>	3	43.74244	14.580813	2.138218	3.49	ns
<b>Error</b>	12	81.82971	6.8191425			
<b>Total</b>	19	375.58792				

\* **significativo al 5 %**

ns **no significativo**

Al observar el cuadro 9 se nota que si existen diferencias significativas entre variedades, lo que indica que al menos una variedad es diferente de las demás. Para determinar cual ó cuales variedades son las que producen mayor peso seco en g/planta, se procedió a hacer una prueba de medias como la de Tukey y los resultados de la misma se muestran en el cuadro 10.

**Cuadro 10 Prueba de Medias de Tukey.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo Tukey</b>
2	15.09	<b>A</b>
4	14.38	<b>AB</b>
5	11.67	<b>AB</b>
1	9.54	<b>AB</b>
3	5.35	<b>C</b>

Comparador de Tukey  $W = 5.888$

La prueba de medias determinó que la variedad que presentó mayor incremento de peso seco fué la variedad Suprema (T2) con un peso promedio 15.0975 g/planta mayor al testigo; así también esta prueba muestra que, se encuentran dos variedades estadísticamente iguales al comportamiento del testigo la variedad romana (T4) 14.38 g/planta y la variedad escarola morada ( T1) con un peso de 9.54 g/planta. Esta prueba mostró que el tratamiento de menos peso seco en comparación al testigo fué la variedad escarola verde (T3) con un peso de 5.35 g/planta.

Al analizar esta variable se puede mencionar que las mejores variedades con respecto al peso seco fueron Suprema y Romana para ser producidas con la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante NFT.

## 7.2. Rentabilidad

La estimación de rentabilidad se hizo por variedad y los resultados se presentan en el cuadro 11 en donde se incluye el indicador de la relación beneficio costo (B/C).

**Cuadro 11 Rentabilidad y relación beneficio costo de las cinco variedades de lechuga Cultivadas con la Técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante.**

Variedad	Costos			Ingreso		Rentabilidad %	B/C
	Variable	Fijo	Totales	Bruto	Neto		
Escarola Morada	1181.34	0	1181.34	1245	63.66	5.38	1.05
Suprema	1196.34	0	1196.34	1155	-41.34	-3.4	-0.96
Escarola Verde	1181.34	0	1181.34	1395	213.66	18	1.18
Romana	1166.34	0	1166.34	2475	1308.7	112.2	2.1
Salinas	1166.34	0	1166.34	855	-311.39	-26.63	-0.73
Mezcla Romana, Escarola Verde y Escarola Morada	1176.34	0	1176.34	11115	9938.7	844.8	9.4

El cuadro 11 presenta la rentabilidad de la variedad escarola verde producida en el sistema NFT, lo que indica que por cada 100 quetzales invertidos se obtiene una ganancia de 18 quetzales. La relación beneficio costo es un indicador relativamente equivalente a la rentabilidad, en este caso el 1 representa al quetzal que fué recuperado y el 0.18 son los centavos que obtienen de ganancia por cada quetzal invertido.

Esta relación debe de estar por encima de 1 para que exista ganancia, si es igual a 1 no se gana ni se pierde, pero si es menor que 1 indica que existen pérdidas.

La variedad Suprema presentó una rentabilidad de 3.455 como se ve en el cuadro 11, esto quiere decir que se está perdiendo 3 quetzales por cada 100 quetzales invertidos, al producir esta variedad en el sistema NFT. Si se analiza la relación beneficio costo vemos que es casi uno, por lo tanto no se esta obteniendo beneficio de utilizar esta variedad.

Lo mismo ocurre con la variedad salinas la cual presenta una rentabilidad con una pérdida de 26 quetzales por cada 100 invertidos en este sistema como muestra el cuadro 11.

Esta es la variedad tomada como testigo, la cual presenta en el mercado un precio inferior en comparación a las otras variedades cuando la producimos en el sistema NFT.

La variedad escarola morada presenta una rentabilidad de 5 %, es importante analizar en este caso la relación beneficio costo que indica 1.05 centavos, obteniendo una ganancia de 0.05 centavos por cada quetzal invertido.

La variedad Romana presenta un caso diferente a las demás variedades mostrando una rentabilidad de 112 % expresado en el cuadro 11, con una relación B/C de 2 lo que indica una recuperación de 2 quetzales recuperados, por uno invertido. Esta variedad es la que presenta una mayor rentabilidad con respecto a la variedad testigo para ser producida en la técnica NFT.

Al realizar una combinación de tres variedades de lechuga: romana, escarola morada y escarola verde se obtiene una rentabilidad del 944 %, con una relación beneficio costo que expresa que por cada quetzal invertido se obtienen 9 de ganancia, es importante mencionar que esta mezcla esta compuesta por hojas de cada una de estas tres variedades en relación 1:1:1 con un peso promedio por bolsa de 400 gramos, esta combinación es muy demandada y pagada en el mercado.

No es necesario el uso de invernaderos, es suficiente con proteger únicamente de la lluvia. Como un dato para que tomes en cuenta si te inquietas en producir lechugas en NFT, este experimento se inició dentro de un invernadero, teniendo una temperatura media de 35 C° de 9 a 17 horas, lo que provocaba un calentamiento de la solución nutritiva de 50 a 70 C° durante las horas descritas anteriormente, provocando un estrés a las lechugas durante estas horas, las cuales mostraban deshidratación, decoloración, pobre desarrollo y poco crecimiento. Por lo que se tuvo que perder esta cosecha é iniciar otra vez el experimento solo que ahora fuera del invernadero, logrando un desarrollo adecuado del cultivo y la culminación satisfactoria del experimento descrito en este documento.

## **8. CONCLUSIONES**

La mejor variedad de lechuga para producir materia seca (g/planta) con la Técnica Hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante NFT es Romana.

La variedad de mayor rentabilidad es la Romana, sin embargo, la mezcla de esta variedad con Escarola Verde y Escarola Morada presenta una rentabilidad más atractiva que la anotada para ella en forma individual.

## **9. RECOMENDACIONES**

En condiciones similares a las de este estudio, se recomienda para producción comercial con el sistema NFT la variedad de lechuga Romana pues con ella se obtendrán altos rendimientos y mejor rentabilidad.

Se recomienda la producción de las variedades: romana, escarola morada y escarola verde, para ser comercializadas como una mezcla de hojas en relación 1:1:1 en bolsa de 400 gramos para obtener una mayor rentabilidad.

Para la producción de las variedades Escarola Morada y Escarola Verde en época de lluvia, se recomienda hacerlo bajo un techo plástico que las proteja del impacto de las gotas de lluvia ya que durante este estudio, las hojas de estas variedades fueron físicamente dañadas por el fenómeno descrito.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Amador, D. 2000. Hidroponía, principios y métodos de cultivo. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 13 p.
2. Barrera García, DE. 2002. Diseño é implementación de la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT). Informe General de Servicios EPSA. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 100 p.
3. Bautista, R. 2000. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en cultivo hidropónico, utilizando como sustratos área y cascarilla de arroz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57 p.
4. Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
5. Burgueño, H. 1999. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. 4 ed. México, Sinaloa, Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Superior de Agricultura. v. 2.
6. Burgueño, H. 1999. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. 3 ed. México, Sinaloa, Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela Superior de Agricultura. v. 3.
7. Cabria, R; Coronado, F; Domínguez, A. 2000. Evaluación de tres soluciones nutritivas y dos sustratos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo sistema hidropónico bajo condiciones de invernadero. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Maestría Manejo Sostenible de Suelo y Agua, Nutrición Vegetal. 20 p.
8. Carrasco, G. 1997. La técnica de la solución nutritiva recirculante. *In* Curso taller internacional hidroponía, una esperanza para Latinoamérica (1997, Lima, Perú). Lima, Perú, Universidad Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. p. 77-82.
9. Carrasco, G; Izquierdo, J. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante “NFT”; manual técnico. Chile, Universidad de ALCA-FAO. 105 p.
10. Castañeda, FR. 1997. Diseño y evaluación de un sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel domestico. Tesis Ing. Químico. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 109 p.
11. Castañeda, FR. 1997. Manual técnico de hidroponía popular, cultivo sin tierra. Guatemala, INCAP. 67 p.

12. Delgado, HL; Palma P; Palmieri, M. 1999. La iniciativa de seguridad alimentaría nutricional en Centroamérica. 2 ed. Guatemala. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. 30 p.
13. Estrada Ligorria, L. 2001. Fertilizantes líquidos STOLLER. *In* Curso Taller: La hidroponía, una alternativa de cultivo ecológico y rentable (2001, Guatemala). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1 CD.
14. Fajardo, F. 2002. Selección de líneas de 7 cultivares de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el Centro Experimental Docente de Agronomía (CEDA), Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
15. Gudiel, V. 1987. Manual agrícola Superb. 6 ed. Guatemala, Productos Superb Agrícola. 393 p.
16. IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, MX). *s.f.* Manual práctico de fertirriego. México, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. 90 p.
17. Jeangille, P. 1992. Sustratos para la agricultura en regiones tropicales y subtropicales, manual técnico. Trad. Juan Figueroa. Santiago, Chile, FAO. 76 p.
18. Moreno, U. 1997. Fisiología de las plantas hidropónicas. *In* Curso talles internacional una esperanza para Latinoamérica (1997, Lima, Perú). Lima, Perú, Universidad Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. p. 113-116.
19. Noma, Y. 2001. Manual de hidroponía. Trad. Noriyuki Komatsu. Guatemala. 22 p.
20. Peña Peña, E. *s.f.* Riego y fertirriego instructivo práctico. Texoco, México, *s.e.* 140 p.
21. Rodríguez, D; Hoyos, M; Chang, M. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación. Lima, PE, Universidad Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. 97 p.
22. Rodríguez, D; Hoyos, M; Chang, M. 2002. Manual práctico de hidroponía. Lima, PE, Universidad Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía é Investigación Mineral. 100 p.
23. Roman C, S. 2001. Libro azul, manual básico de fertirriego. 2 ed. Santiago, Chile, Soquimich Comercial. 177 p.
24. Sagastume, H. 2000. Criterios que se deben seguir en la producción de lechuga. Agricultura (GT) 3(33):32-36.
25. Samperio, G. 1999. Hidroponía básica. México, Diana. 153 p.

26. Sánchez, F; Escalante, E. 1988. Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. 3 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 193 p.
27. Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, US. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. Trad. Manuel Guzmán. México, Limusa. 297 p.
28. Vásquez Alarcón, A. 1996. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. 2 ed. México, Chapingo, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos. 30 p.

## 11. ANEXOS

Figura 1 Mapa de la ubicación del área experimental.

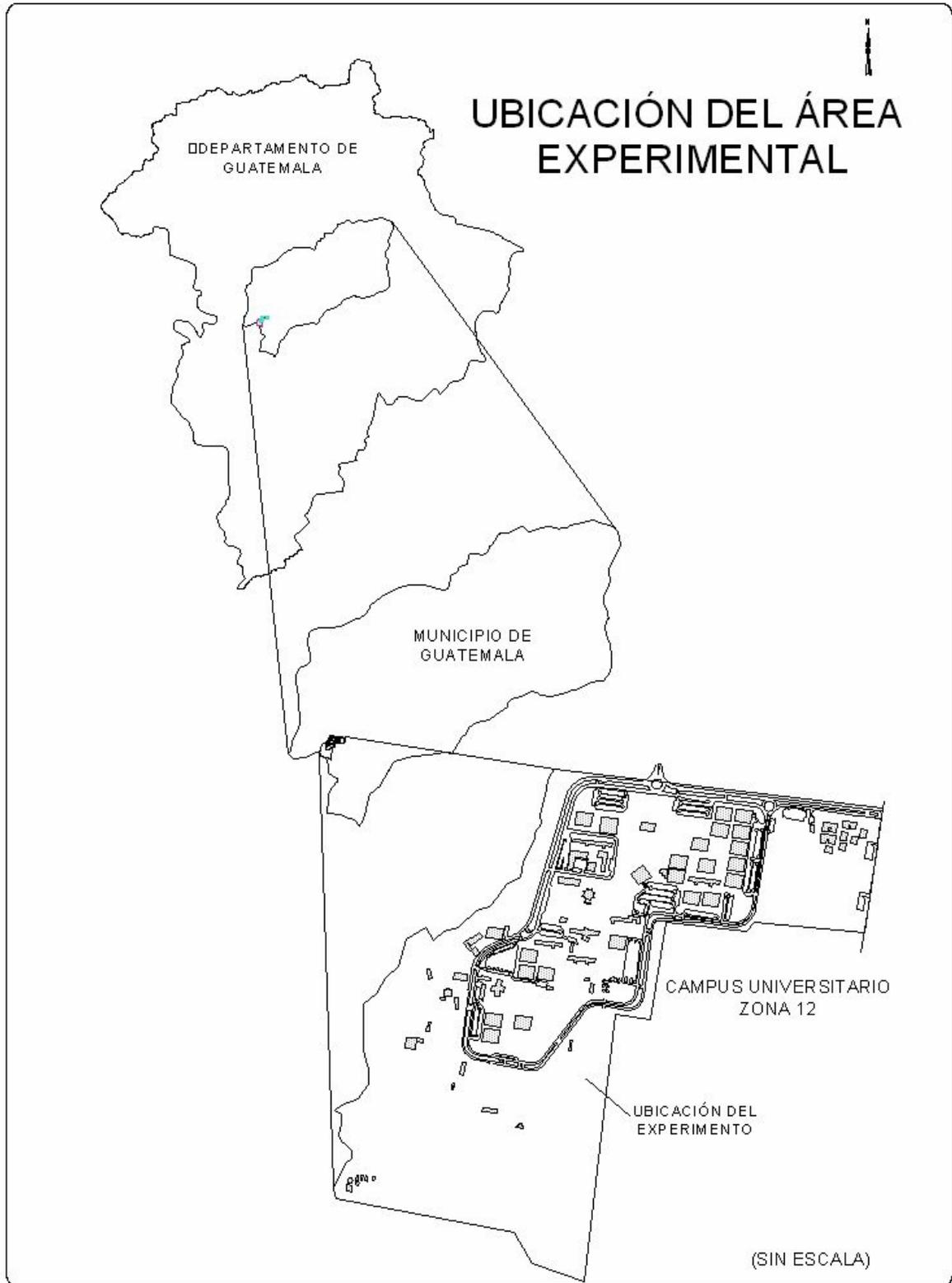
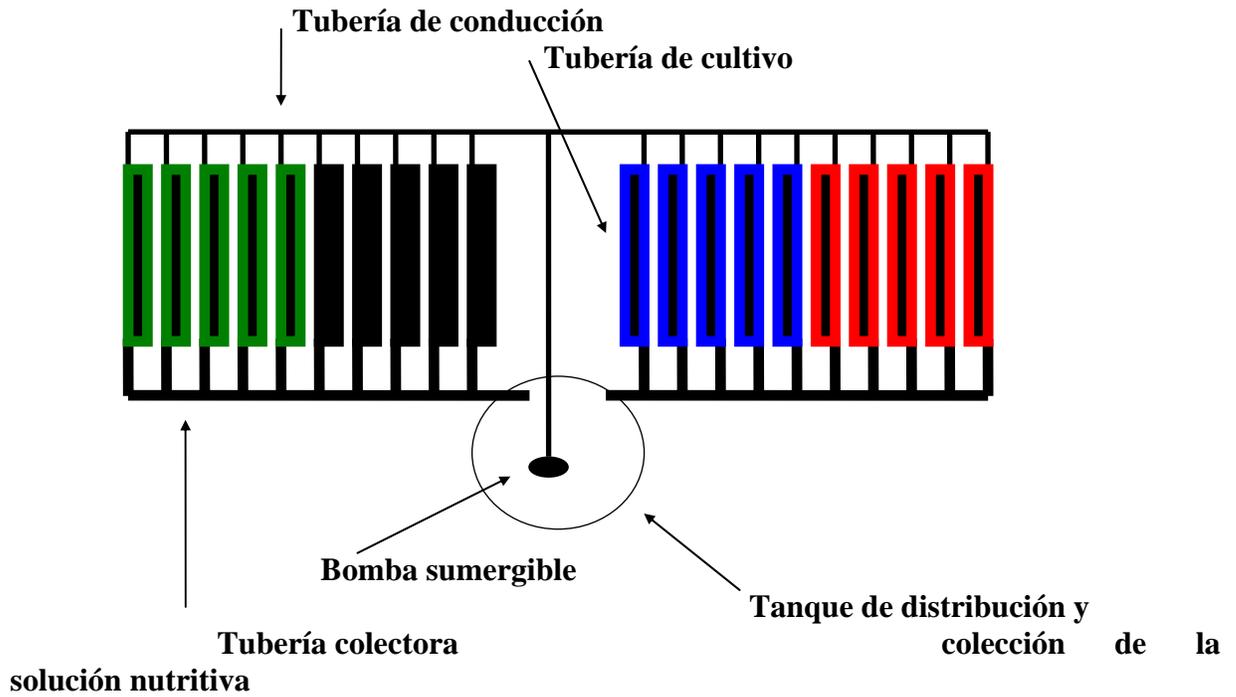


Figura 2 Croquis del sistema NFT, para la producción de lechuga.



Cuadro 1 Aleatorización de tratamientos.

T1	T3	T5	T4	T2	T3	T2	T1	T5	T4	T2	T4	T3	T1	T5	T2	T5	T4	T3	T1
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Bloque 1

Bloque 2

Bloque 3

Bloque 4

**Cuadro 2 Rendimiento promedio por tratamiento y repetición de peso fresco g/ planta de lechuga.**

	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>
<b>Trat. 1</b>	93	266.9	237.6	136.9
<b>Trat. 2</b>	409.7	507.2	702.4	695.1
<b>Trat. 3</b>	129.9	80	106.4	107
<b>Trat. 4</b>	272	311.2	352.9	191.4
<b>Trat. 5</b>	393.4	395.4	398.7	392.8

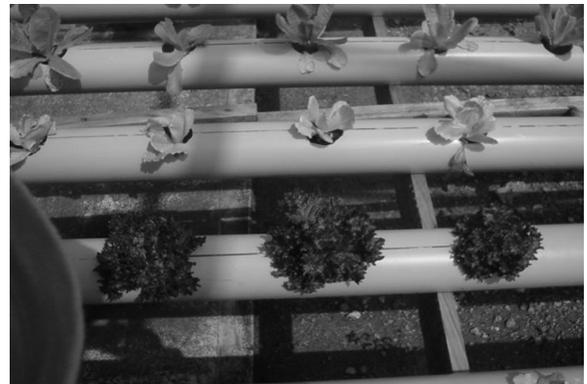
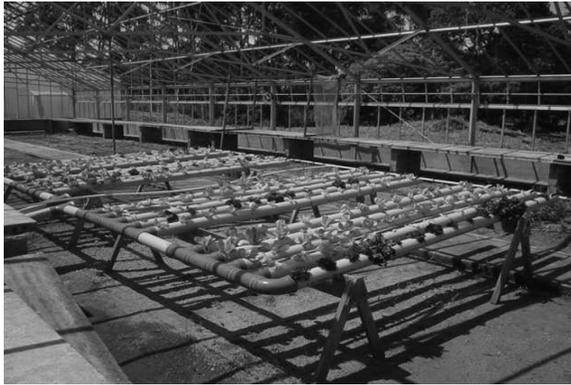
**Cuadro 3 Control de ph y CE mS/cm, de la solución nutritiva utilizada durante el periodo de producción.**

<b>Semana</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>ph</b>	<b>CE mS/cm</b>	<b>fecha final</b>	<b>Ph</b>	<b>CE mS/cm</b>	<b>Días en producción</b>
1	02/09/03	5	2.35	10/09/03	7	1.15	8
2	10/09/03	5	2.25	16/09/03	7.5	0.95	14
3	16/09/03	4.5	2.11	24/09/03	6.9	0.68	22
4	24/09/03	4.7	2.11	02/10/03	7	1.11	30
5	02/10/03	4.7	2.53	09/10/03	7.1	1.69	37
6	09/10/03	5.7	3.14	17/10/03	6.7	1.29	45

**Cuadro 4 Análisis de minerales, ph y CE del agua utilizada en el experimento, Proveniente del Centro Experimental Docente de Agronomía CEDA.**

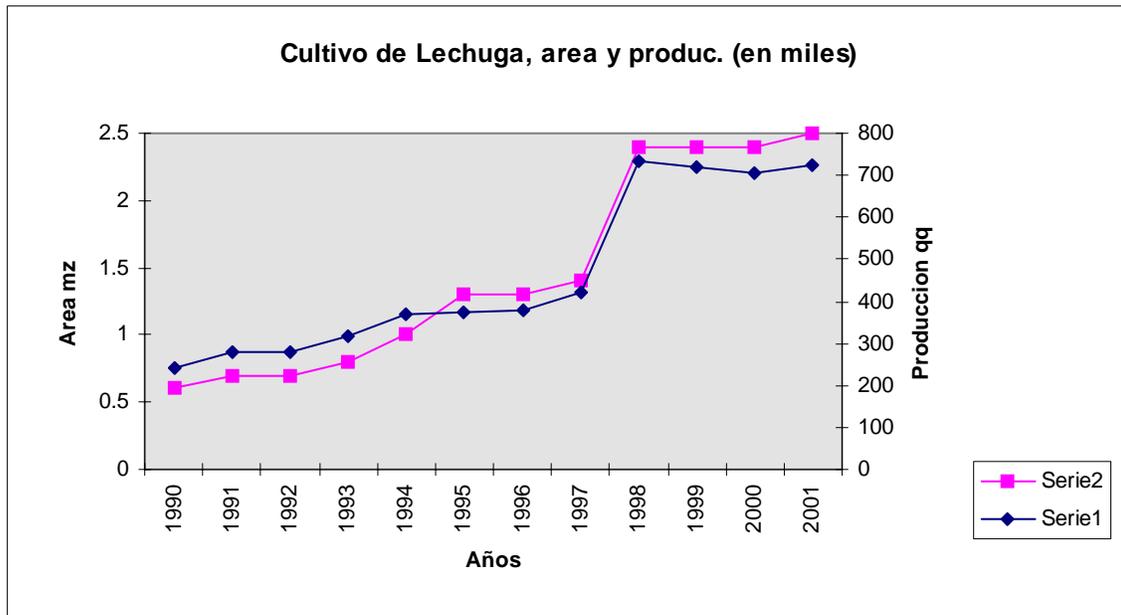
<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>
	mS/cm	Meq/L	Meq/L	PPm	PPm	PPm	PPm	Meq/L	Meq/L
<b>7.8</b>	<b>2.59</b>	<b>1.12</b>	<b>0.78</b>	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.74</b>	<b>0.03</b>

**Figura 3** Fotografías del Resultado del experimento, Evaluación de cinco variedades de Lechuga *Lactuca sativa* L. cultivadas con la técnica hidropónica de Solución Nutritiva Recirculante NFT.





**Figura 4** Área cosechada y producción (en miles), cultivo de lechuga  
Período 1990-2001.



**nota:** serie 1 área en manzanas y serie 2 es producción en qq de lechuga.

**Fuente:** Banco de Guatemala.

