

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure on horseback, a shield, and various heraldic symbols. The Latin text around the border includes "CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" and "PETERAS OIBIS".

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA, *Lactuca sativa L.*
BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN PACHALÍ,
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

NIDIA ESPERANZA BARRIOS ARREAGA

Guatemala, agosto de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA, *Lactuca sativa L.*
BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN PACHALÍ,
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

TESIS

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

POR

NIDIA ESPERANZA BARRIOS ARREAGA

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

Guatemala, agosto de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortíz
VOCAL CUARTO	Br.	Wener Armando Ochoa Orozco
VOCAL QUINTO	Br.	Juan Manuel Corea Ochoa
SECRETARIO	Ing. Agr.	Pedro Peláez

Guatemala, agosto 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 la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA, *Lactuca sativa L.*
BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN PACHALÍ,
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

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,

NIDIA ESPERANZA BARRIOS ARREAGA

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Cuyo amor inconmensurable será el estílobo de mi vida y principal fortaleza para romper barreras.

MIS PADRES: **Américo Barrios López y Olimpia Arreaga Gramajo de Barrios**, quienes han llenado con su ejemplo todas las aristas de mi vida.

MI ESPOSO: **Martín Orlando Arzú García**, solidario e inseparable amigo y compañero, dueño de mis sueños y copartícipe de mis ambiciones.

MI HIJA: **Nidia del Carmen Arzú Barrios**, con ternura y con el mas sublime amor que me inspira por ser ella la prolongación de mi ser.

MIS HERMANAS: **Berna Leticia, Piedad Consuelo, Ilsa Miroslava y Gladis Barrios Arreaga**, por su solidaridad incondicional en todo momento de mi vida.

MIS CUÑADOS: **Luis González, Manfredo Maldonado, Jaime Escobar y Augusto René Pérez Méndez**, con amor fraternal.

MIS SOBRINOS: **Luis Antonio, Aminta Consuelo, Gustavo Adolfo, Astrid Gabriela, América María, Kristel Miroslava, José Roberto, Brenda Paola, César Augusto, Jeymi Belinda, Fátima Eugenia**, como un ejemplo de lucha y tenacidad.

TESIS QUE DEDICO

A:

Mi país Guatemala.
La Ciudad de Quetzaltenango.
La Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores **Ing. Agr. Carlos Román Chon De La Cruz, Ing. Agr. Fredy Hernández Ola, Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández Montoya, Ing. Agr. Domingo Amador, Inga Agra. Mirna Carolina Montes, Inga. Agra. Aida Elionora Ramírez**, por su asesoría y apoyo brindado en la elaboración y culminación del presente trabajo.

CONTENIDO GENERAL

	ÍNDICE DE FIGURAS	iv
	ÍNDICE DE CUADROS	v
	RESUMEN	vi
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.	MARCO TEÓRICO	3
3.1	MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1	DEFINICIÓN DE HIDROPONÍA	3
3.1.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS	3
3.1.3	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HIDROPÓNICOS	4
3.1.4	SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE	4
	A. Etapas del sistema de raíz flotante	5
	B. La solución nutritiva	8
3.1.5	SISTEMA DE SUSTRATO SÓLIDO	11
	A. Sustrato sólido	11
3.1.6	NUTRIENTES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS	15
	A. Nitrógeno	15
	B. Fósforo	15
	C. Potasio	16
	D. Calcio	16
	E. Azufre	16
	F. Magnesio	16
	G. Hierro	16
	H. Manganeseo	16
	I. Boro	17
	J. Cobre	17
	K. Zinc	17
	L. Molibdeno	17
3.1.7	EL CULTIVO DE LECHUGA	17
	A. Taxonomía	17
	B. Descripción botánica	18
	C. Composición química de la lechuga	19
3.2	MARCO REFERENCIAL	20
3.2.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	20
	A. Localización del ensayo	20
	B. Ríos	21
	C. Suelos	21
	D. Uso de la tierra	21
3.2.2	SOLUCIÓN NUTRITIVA UTILIZADA	21
3.2.3	MATERIAL EXPERIMENTAL	22
	A. Variedad de lechuga Salinas	22
	B. Variedad de lechuga Bounty	22
	C. Variedad de lechuga Grand Rapids	22
4.	OBJETIVOS	22

4.1	GENERAL	23
4.2	ESPECÍFICOS	23
5.	HIPÓTESIS	24
6.	METODOLOGÍA	25
6.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	25
6.2	TRATAMIENTOS EVALUADOS	25
6.2.1	DESCRIPCIÓN DE FACTORES Y NIVELES EVALUADOS	25
6.2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS 6 TRATAMIENTOS	25
6.3	DISEÑO EXPERIMENTAL	25
6.3.1	MODELO ESTADÍSTICO	26
6.4	DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	26
6.5	DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO	27
6.6	VARIABLES DE RESPUESTA	28
6.7	MANEJO DEL EXPERIMENTO	28
6.7.1	ELABORACIÓN DE 24 CAJAS	28
A.	Armado de la caja	28
6.7.2	PREPARACIÓN DEL SEMILLERO	30
A.	Lavado del sustrato	30
B.	Llenado de la caja con el sustrato y siembra de la semilla de Lechuga	30
C.	Cuidado de las plántulas en el semillero	31
6.7.3	TRANSPLANTE DE LAS PLÁNTULAS DE LECHUGA Y MANEJO HASTA LA COSECHA	31
A.	Transplante de lechuga a cajas con sustrato sólido	32
B.	Transplante de lechuga a cajas con sustrato líquido	33
6.7.4	COSECHA	38
6.7.5	TOMA Y REGISTRO DE DATOS	38
A.	Porcentaje de pegue	38
B.	Altura de la planta al momento de la cosecha	38
C.	Diámetro de cabeza al momento de la cosecha	38
D.	Rendimiento en fresco por parcela neta	39
6.8	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	39
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
7.1	PORCENTAJE DE PEGUE DE LA LECHUGA EN LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS	40
7.2	ALTURA DE LA CABEZA DE LECHUGA AL MOMENTO DE LA COSECHA	40
7.3	DIÁMETRO DE LA CABEZA DE LECHUGA AL MOMENTO DE LA COSECHA	41
7.4	RENDIMIENTO EN FRESCO POR UNIDAD EXPERIMENTAL	43
7.4.1	SUSTRATO MÁS APROPIADO PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA	44
7.4.2	VARIEDAD DE LECHUGA CON MAYOR RENDIMIENTO EN CUALQUIER TIPO DE SUSTRATO	45

7.5	ANÁLISIS ECONÓMICO	46
8.	CONCLUSIONES	49
9.	RECOMENDACIONES	50
10.	BIBLIOGRAFÍA	51
11.	ANEXOS	52
	Andeva para la variable altura (cm)	53
	Andeva para la variable diámetro (cm)	54
	Andeva para la variable rendimiento (kg/0.36 m ²)	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de la finca del INCAP donde se realizó el experimento de hidroponía	20
Figura 2.	Detalle de la unidad experimental	27
Figura 3.	Distribución de los tratamientos en el campo	27
Figura 4.	Armado secuencial de la caja para en ensayo de hidroponía	29
Figura 5.	Tipo de sustrato utilizado y llenado de las cajas con sustrato sólido	32
Figura 6.	Llenado de la caja con 108 litros de solución nutritiva	34
Figura 7.	Preparación del duroport y esponja para el cultivo hidropónico de la lechuga en sustrato líquido	35
Figura 8.	Secuencia del procedimiento de transplante de plántulas de lechuga a sustrato líquido	36
Figura 9.	Resumen de la prueba de Tukey para la variable altura de la cabeza de lechuga	41
Figura 10.	Resumen de la prueba de Tukey para la variable diámetro de la cabeza de lechuga	42
Figura 11.	Resumen de la prueba de Tukey para la variable rendimiento en kilogramos de lechuga por parcela neta independientemente del tipo de sustrato empleado	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Duración de las etapas del sistema de raíz flotante en algunos cultivos	5
Cuadro 2.	Composición química de la lechuga por cada 100 gramos de materia seca	19
Cuadro 3.	Composición de la solución concentrada y diluida del INCAP en partes por millón	21
Cuadro 4.	Codificación y descripción de los tratamientos	25
Cuadro 5.	Medidas de las tablas y cantidad para elaborar 1 y 24 cajas	28
Cuadro 6.	Formato para el registro de datos de las variables de respuesta evaluadas	39
Cuadro 7.	Resumen de ANDEVA para la variable altura de la cabeza de lechuga en centímetros	40
Cuadro 8.	Resumen de ANDEVA para la variable diámetro de la cabeza de lechuga	42
Cuadro 9.	Resumen de ANDEVA para la variable rendimiento de lechuga por parcela neta (kg/0.36 m ²)	43
Cuadro 10.	Altura, diámetro y peso unitario de las variedades de lechuga cultivadas hidropónicamente	46
Cuadro 11.	Costos de producción de lechuga bajo cultivo hidropónico por caja de 1.20 m ²	47
Cuadro 12.	Resumen de la rentabilidad obtenida en cada tratamiento	47

**EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE LA LECHUGA, *Lactuca sativa* L.
BAJO CONDICIONES HIDROPÓNICAS EN PACHALÍ,
SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

**EVALUATION OF THE CULTIVATION OF THE LETTUCE *Lactuca sativa* L., UNDER
HIDROPONIC CONDITION IN PACHALÍ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar la respuesta de tres variedades de lechuga *Lactuca sativa* L., cultivadas en dos sustratos bajo condiciones hidropónicas, con el propósito de establecer el mejor sustrato y la mejor variedad de lechuga en rendimiento por unidad experimental desde el punto de vista agronómico y económico.

Se evaluaron los sustratos líquido y sólido (50 % de arena blanca y 50 % de cascarilla de arroz), en cada uno de los sustratos se establecieron las variedades de lechuga Salinas, Bounty y Grand Rapids.

El experimento se realizó en la finca del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), ubicada en la aldea Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala y tuvo una duración de 50 días; 22 días en semillero y 28 en cajas ya sea con sustrato sólido o líquido según el tratamiento.

Según los resultados obtenidos, se recomienda cultivar lechuga en sustrato sólido pues se obtienen 2.88 kilogramos de lechuga por 0.36 m²; en éste sustrato la mayor rentabilidad (172.50 %) se obtuvo con la variedad Grand Rapids.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala, es uno de los países del mundo mas afectados por problemas de salud y nutrición principalmente en el área rural, como consecuencia de su situación socioeconómica y política predominante, por ejemplo, el minifundio con suelos de alto riesgo de erosión, pedregosidad y baja fertilidad.

Las hortalizas han cobrado importancia, especialmente el cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L., en el mercado local e internacional, por considerarse un cultivo hortícola rico en vitaminas y minerales y de muy fácil uso comestible; el área cultivada en el año 2002 fue de 950 hectáreas de las cuales se obtienen 42,750 toneladas métricas exportándose el 20 por ciento al mercado centroamericano y norteamericano (1).

Siendo la lechuga un cultivo importante para los agricultores del altiplano que cuentan con terrenos pobres en nutrientes, humedad, materia orgánica, etc, es importante proveer de alternativas a éstos para que puedan prescindir del uso directo de la tierra en la agricultura, tal como es el caso de los cultivos hidropónicos.

En la presente investigación se evaluaron las variedades de lechuga Salinas, Bounti y Grand Rapids bajo cultivo hidropónico utilizando dos tipos de sustrato; líquido y sólido compuesto por 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca. La solución nutritiva empleada fue propuesta por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). El experimento se condujo en un diseño bifactorial de bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas con seis tratamientos y cuatro repeticiones, bajo las condiciones ambientales de la finca del INCAP, ubicada en la aldea Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Resultado de la investigación se tiene que el mejor sustrato para cultivo hidropónico de lechuga es el sólido, empleando 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala existen muchas áreas rurales donde la disponibilidad de tierra bajo riego es escasa, principalmente en las áreas áridas del nor-oriente, los suelos son pobres en nutrientes y prevalece el minifundismo. Lo anterior reduce la oportunidad de producir hortalizas, como es el caso de la lechuga, que necesita para su normal desarrollo de suficiente humedad y una adecuada nutrición; sin embargo es posible desarrollar las hortalizas de porte bajo como la lechuga en sustratos apropiados y con un suministro de nutrientes en forma adecuada, aun en áreas no apropiadas para la agricultura o que no sean muy extensas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DEFINICIÓN DE LA HIDROPONÍA

La hidroponía (hidros = agua y ponos = trabajo o actividad) es traducido literalmente como trabajo del agua y *es una técnica de producción de cultivos sin suelo*. El suelo es reemplazado por el agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella. Las plantas toman sus alimentos minerales de las soluciones nutritivas, adecuadamente preparadas; y sus alimentos orgánicos los elaboran autotróficamente por procesos de fotosíntesis y biosíntesis. En hidroponía se presentan dos tipos de sustratos, el líquido o agua que se mencionó anteriormente y el sólido para el cual se emplean materiales inertes como arena, cascarilla de arroz, grava, etc. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad y asegurar un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área son altos, por la mayor densidad y elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año (9).

3.1.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Las ventajas que ofrecen los sistemas de cultivos hidropónicos entre otras son las siguientes:

- Permite obtener cultivos más homogéneos y de forma especial, favorecen el desarrollo de un sistema radicular más homogéneo.
- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los hongos del suelo, lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes, algunas de las cuales están siendo cada vez más cuestionadas y prohibidas.
- Reducen el costo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente.
- El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla más fácilmente que en cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.
- Mayor cantidad, calidad y precocidad de cosecha.
- Permite una programación de actividades más fácil y racional.
- Admite la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción (5).

En un sistema hidropónico no todo son ventajas, las desventajas más importantes que se presentan son las siguientes:

- El costo elevado de la infraestructura e instalaciones que configuran el sistema.
- El costo añadido que representa el mantenimiento de las instalaciones.
- La producción de residuos sólidos, a veces, difíciles de reciclar.
- La acumulación de drenajes cuando se riega con aguas de mala calidad.
- La contaminación de acuíferos cuando se practican vertidos improcedentes.
- El costo de las instalaciones y de la energía necesaria para reutilizar parte de los drenajes producidos (5).

3.1.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HIDROPÓNICOS

Básicamente los sistemas de producción de cultivos hidropónicos se pueden clasificar en dos grandes grupos a saber según el tipo de sustrato que utilizan como sigue:

- *Sistemas hidropónicos con sustrato líquido.*
- *Sistemas hidropónicos con sustrato sólido.*

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta con una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran, el sistema de raíz flotante y el sistema recirculante o NFT; para los sistemas hidropónicos que emplean sustrato sólido se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes.

3.1.4 SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE

De todos los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo (3).

En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport perforada para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva) (4).

Las hortalizas aprovechables por sus hojas que con frecuencia son cultivadas de esta forma son: lechuga, albahaca, apio, etc. Principalmente, porque estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces, absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

Este sistema ha sido probado en diferentes lugares con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad. A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente al factor limitante que es la oxigenación (3).

Cabe afirmar que esta técnica permite optimizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, logrando reducir su período vegetativo con bajo consumo de agua. Además de la obtención de plantas saludables y libre de enfermedades lo cual genera importantes ventajas de tipo sanitario. Asimismo permite aprovechar áreas pequeñas (3).

A. Etapas del sistema de raíz flotante

El sistema de raíz flotante consta de tres etapas que son almácigo, post-almácigo y trasplante definitivo; sin embargo en algunas ocasiones se obvia la etapa de post-almácigo quedando únicamente dos etapas; almácigo y trasplante definitivo. En el Cuadro 1, se presenta el tiempo de duración de cada una de las etapas del sistema hidropónico de raíz flotante para algunos cultivos (3).

Cuadro 1. Duración de las etapas del sistema de raíz flotante en algunos cultivos

CULTIVO	Etapas del Sistema de Raíz Flotante		
	ALMÁCIGO	POST-ALMÁCIGO	TRANSPLANTE DEFINITIVO
Lechuga	2-3 semanas	2-3 semanas	4 semanas
Albahaca	2 semanas		4 semanas
Apio	2-3 semanas	4 semanas	8 semanas

Fuente: Chang, M. *et al* (3).

a. Semillero o almácigo

El semillero o almácigo no es otra cosa que un pequeño espacio al que se le proporcionan las condiciones óptimas para garantizar la germinación o nacimiento de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas. Debe procurarse un cuidado especial al momento de la siembra para que no existan problemas en el desarrollo de las mismas (4).

Para el almácigo se puede utilizar sustratos preparados arena fina + cascarilla de arroz a una relación 1:1; el sustrato no debe tener partículas muy grandes ni pesadas, porque estas no permitirían la

emergencia de las plantitas recién germinadas. Las condiciones de humedad deben de ser controladas, ya que las semillas y las plantas recién germinadas no se desarrollarían sino tienen la cantidad de agua suficiente. El sustrato usado para hacer los almácigos debe ser muy suave, limpio y homogéneo. El sustrato se debe nivelar muy bien para que al trazar los surcos y depositar las semillas no queden unas más profundas que otras; esto afectaría la uniformidad de la germinación y del desarrollo inicial. Un aspecto muy importante es que no se deben hacer los almácigos en tierra para luego trasplantarlos a sistemas hidropónicos con sustratos sólidos o líquidos (4).

En el semillero se trazan las líneas o surcos con una regla a una distancia de 5 cm a una profundidad de 0.5 cm se ponen las semillas una por una dentro del surco o hilera a 1 cm entre plantas (semilla). Luego de sembradas las semillas se presiona suavemente el sustrato para expulsar el exceso de aire que pueda haber quedado alrededor de la semilla y aumentar el contacto de la misma con el sustrato. Después se riega nuevamente y se cubre el almacigo con papel periódico en épocas normales y con papel + plástico negro en épocas de temperaturas muy bajas, para acelerar el proceso de germinación (4).

Durante los primeros días después de la siembra, el almacigo se riega una a dos veces por día para mantener húmedo el sustrato, hasta la germinación. El mismo día en que ocurre la emergencia de las plantitas se descubre el germinador y se deja expuesto a la luz, debiéndose proteger de los excesos de sol o del frío con una sencilla cobertura en las horas de mayor riesgo de deshidratación o de heladas. Si el destapado del germinador no se hace a tiempo (el día que emergen las primeras hojas), las plantitas se estirarán buscando la luz y ya no servirán para ser trasplantadas. Estas plantas con tallos con apariencia de hilos blancos nunca serán vigorosos ni darán lugar buenas plantas adultas (4).

A partir de la germinación debe regarse diariamente utilizando solución nutritiva (50% de la solución concentrada total). Dos veces por semana se escarda (que consiste en romper la costra superficial que se forma en el sustrato por efecto de los riegos continuos) y se aporca (que consiste en acercar la tierra a la base de las plántulas), para mejorar el anclaje y desarrollo de sus raíces.

Teniendo muy en cuenta estos cuidados se previenen y controlan las plagas que pudieran presentarse hasta que las plantas lleguen al estado ideal de ser trasplantadas en los contenedores definitivos (4).

Unos tres a cinco días antes del trasplante o post-almácigo se disminuye la cantidad de agua aplicada durante los riegos y se le da mayor exposición a la luz. Esta fase permite dar las condiciones para que se consoliden mejor sus tejidos y se preparen las plántulas para las condiciones del sistema de raíz flotante o sustrato sólido que afrontaran cuando hayan sido trasplantadas. Para lograr con éxito este paso es muy importante no suspender el suministro de nutrientes, ni las escardas, solamente se disminuye la cantidad de agua y se expone al sol (4).

b. Post-almácigo

Durante esta etapa se construyen los contenedores de acuerdo a la cantidad de lechuga que se va a producir. Las planchas de duroport o termopor se miden de acuerdo al contenedor y en donde se hacen los orificios a una distancia de 5 cm en forma triangular por medio de un tubo caliente de 1.5 cm de diámetro. Una vez teniendo listo el contenedor para el trasplante se llena de agua hasta alcanzar una profundidad de 10 cm a la que se le agrega el 75% de la solución concentrada total. El trasplante se realiza en las planchas de duroport, colocando una planta por cada agujero. Las plantas son sostenidas en cada agujero por medio de una esponja del mismo diámetro. Estas plantas permanecen en esta etapa por un periodo de dos semanas (12 – 14 días) y de esta forma se adaptan las plantas al sistema de producción raíz flotante. El trasplante se debe realizar en las horas de la tarde y así evitar estrés a las plantas (3, 4).

c. Transplante definitivo

Esta etapa comienza cuando se trasplantan las plántulas del post-almácigo a contenedores más grandes generalmente de 1 m x 1 m x 0.10 m y se requiere planchas de termopor de 1 “ o 1 ½” con orificios hechos en forma similar como la descrita en la etapa anterior, sólo que el diámetro y las distancias de éstos son mayores porque aquí el cultivo adquiere mayor desarrollo hasta la cosecha. El diámetro de los orificios es de 2.5 cm y la distancia entre éstos es de 17 a 20 cm para el cultivo de lechuga; para un área de un metro cuadrado se pueden colocar entre 25 a 30 lechugas (3).

d. Cosecha

Se recomienda realizar la recolección de las plantas muy temprano en las mañanas o en las tardes, retirándole las hojas basales secas y dañadas (3).

e. Comercialización

Estos cultivos se pueden comercializar como plantas vivas, es decir, colocando las plantas con sus raíces en recipientes que contengan agua. Asimismo, las plantas se pueden embalar individualmente (lechuga y apio) o atados (albahaca) en bolsas plásticas. Las plantas comercializadas con sus raíces pueden aumentar su duración en el mercado respecto a aquellas que no llevan raíces, sobretodo si no son mantenidas en cámaras de conservación (3).

B. La solución nutritiva

La solución nutritiva es el conjunto de los elementos nutritivos requeridos por las plantas que se encuentran disueltos en agua. Bajo un sistema hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de la solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera que debe ser un requisito fundamental la solubilidad de los iones esenciales en el agua. El nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio, el azufre y el magnesio denominados macronutrientes, se añaden al agua a partir casi siempre de fertilizantes comerciales. Los microelementos van a menudo incluidos como impurezas en el agua y en los fertilizantes que proporcionan los macroelementos, y a excepción del hierro (que debe añadirse regularmente en la solución) solo se añaden cuando existe necesidad (11).

Para la preparación de la solución nutritiva es preferible utilizar fertilizantes denominados de calidad o grado de invernadero. Una calidad pobre del fertilizante contendrá siempre gran cantidad de impurezas (arcilla, arena y partículas de limo), las cuales pueden formar una capa sobre la zona radicular; dicha capa no solamente puede impedir alcanzar esta zona a algunos nutrientes, sino que también obstruirá o taponeará las líneas de alimentación de agua en sistemas hidropónicos automatizados (9).

a. Preparación de la solución nutritiva

En la literatura se reportan un gran número de soluciones nutritivas propuestas que han sido previamente evaluadas en un amplio número de hortalizas y la mayoría responde adecuadamente a las necesidades de los cultivos. Normalmente se propone en forma general para todos los casos la

preparación de dos soluciones madre, la solución A en la cual se incluyen todos los macronutrientes y la solución B en la cual se incluyen los micronutrientes. Los agricultores que se dedican a la hidroponía únicamente necesitan mezclas ambas soluciones en agua según lo que recomiende las etiquetas de los envases.

b. Calidad del agua para la solución nutritiva

El agua en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, el cual en concentraciones altas causa complicaciones en toxicidad a las plantas. Mediante el agua se proporciona a las plantas la solución nutritiva.

c. Duración y cambio de la solución nutritiva

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución (si es alto o bajo). La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 4 a 6 semanas (3).

En el caso del cultivo de lechuga, la etapa definitiva dura 4 semanas y no se cambia la solución nutritiva durante este tiempo. En el cultivo de apio, se sugiere renovar totalmente la solución nutritiva a las 4 semanas, porque en este período, prácticamente ha absorbido todos los nutrientes, lo cual se ha observado en un control continuo de la conductividad eléctrica (3).

d. Conductividad eléctrica

La conductividad indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 mS/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post-almácigo y trasplante definitivo (3).

Si la solución nutritiva supera el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductivímetro, el cual debe calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución (3).

e. pH de la solución nutritiva

El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Si una solución es ácida su valor es menor a 7, si es alcalina su valor es mayor a 7 y si es neutra su valor es de 7. La disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 6.5 en el cual los nutrientes están disponibles para la planta.

Para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH se debe adicionar una base o álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (excepto para aguas con niveles significativos de sodio). Éstos ácidos y bases se deben utilizar diluidos a concentraciones de 1N. Se sugiere el uso de un pHmetro o cinta de pH para el control de éste parámetro. Asimismo, se recomienda calibrar el pHmetro con una solución tampón (buffer) antes de utilizarlo (3).

f. Oxigenación de la solución nutritiva

La falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario ésta se torna oscura debido a muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compesora, inyectando aire durante todo el día (3).

El agua se cambia totalmente dependiendo de la coloración de la raíz o por la presencia de algas cada tres semanas. La aireación se realiza por lo menos una vez al día, preferiblemente por la mañana. El nivel o contenido de agua se debe revisar todos los días en cada bancal y al disminuir 3 cm de los 10 cm recomendados de profundidad, debe completarse nuevamente con solución.

3.1.5 SISTEMA DE SUSTRATO SÓLIDO

Este sistema es eficiente para cultivar más de 30 especies de hortalizas y otras plantas de porte bajo y rápido crecimiento. Ha sido el más aceptado por la mayoría de las personas que en la actualidad trabajan en cultivos hidropónicos; pues es el menos exigente en cuidados que el sistema de raíz flotante y permite sembrar mayor variedad de hortalizas (3).

El sistema de cultivo sólido se divide en cultivo en agregado, cultivo en grava y técnicas misceláneas.

El cultivo en agregado comprende a todos aquellos métodos que utilizan como sustrato la arena o agregados que posean propiedades semejantes como perlita, vermiculita, aserrín y otros. Se puede definir al cultivo en grava como aquel sistema hidropónico que comprende los métodos en que las plantas crecen en sustrato, generalmente no absorbente, y cuyas partículas quedan comprendidas entre los 2 mm y los 2 cm de diámetro (3,4).

A. Sustrato sólido

Los sustratos sólidos son materiales sobre los cuales se desarrollan las raíces de las plantas y le sirven para su sostén. Los sustratos donde se desarrollan las raíces se pueden utilizar solos, pero es mejor mezclarlos para aprovechar las ventajas de la combinación (3, 10, 11).

a. Características de un buen sustrato

- Que las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior a 0.2 mm y no superiores a 7 mm.
- Que retengan una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua.
- Que no retengan humedad en su superficie.
- Que no se descompongan o degraden con facilidad.
- Preferiblemente que tengan coloraciones oscuras.
- Que no contengan elementos nutritivos.
- Que no contengan microorganismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas.
- Que no estén contaminados con residuos industriales o humanos.
- Que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar.
- Que sean de bajo costo (3, 10, 11).

b. Sustratos adecuados para el cultivo hidropónico

Los materiales que han sido probados y que cumplen la mayoría de estos requisitos son los siguientes:

i. Cascarilla de arroz

Es necesario lavarla y dejarla bien humedecidas antes de sembrar o trasplantar.

ii. Aserrín de maderas no latifoliadas ni pino

El aserrín debe ser apenas una pequeña parte (entre 15 y 20 %) del sustrato que debe colocar en una cama de cultivo, pues, cantidades muy grandes de él pueden ser perjudiciales para el desarrollo de algunas plantas. Se debe utilizar aserrín de maderas finas como cedro o caoba.

iii. Hormigón o arenas volcánicas, arena de río

En éste caso se deben de lavar adecuadamente para eliminar residuos de arcillas que pueden contener en su superficie en las pequeñas cavidades de las mismas (10).

c. Mezclas de sustratos

Los materiales anteriormente mencionados se pueden utilizar solos, pero también algunas mezclas de ellos en diferentes proporciones han sido probadas en cultivos hortícolas de más de 30 especies (10). Algunas mezclas recomendadas de acuerdo a varios ensayos en varios lugares son:

- 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de escoria volcánica.
- 80 % de cascarilla de arroz y 20 % de aserrín de cedro o caoba.
- 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena de río.
- 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena volcánica (pómez).
- 50 % de cascarilla de arroz , 40 % de escoria volcánica y 10 % de aserrín.

B. Etapas del sistema hidropónico de sustrato sólido

La producción de hortalizas bajo el sistema hidropónico de sustrato sólido difiere con el sistema de raíz flotante básicamente en el sustrato utilizado. La primera etapa es la de semillero y la segunda la de transplante definitivo.

a. Etapa de semillero

La etapa de semillero en el sistema hidropónico de sustrato sólido básicamente es la misma que se indicó en el sistema de raíz flotante (inciso 3.1.5, A. a. semillero o almácigo), es decir ambos sistemas (sustrato líquido y sólido), comparten en común la primera etapa que se refiere al semillero o almácigo.

b. Transplante definitivo

Para el transplante se emplean recipientes de plástico o cajas de madera, los cuales se impermeabilizan por medio plástico negro. Sea cual fuere el sustrato sólido que se utilice se coloca una capa de unos 12 a 15 centímetros. Para facilidad en el manejo a las cajas de madera se les puede colocar patas para que las plantas queden a una altura de aproximadamente unos 50 centímetros sobre la superficie del lugar donde se coloquen (2) .

Al momento de la siembra el sustrato debe estar adecuadamente humedecido con agua. Luego se aplana o nivela la superficie del sustrato por medio de una tablita de madera. Se marcan los puntos donde se trasplantarán las plantas a una distancia de 17 centímetros entre los centros y en distribución al tresbolillo. Luego en los puntos marcados se procede a abrir agujeros grandes y profundos (2).

Al tener preparadas las cajas suficientes para trasplantar todo el semillero, se procede a extraer las plántulas del semillero por medio de una palita de mano plástica, luego se coloca en el agujero de la caja de transplante y se tapa el agujero alrededor de la plantita con sustrato de los alrededores (2).

Es importante recordar que los trasplantes deben hacerse en las últimas horas de la tarde para evitar que las plantitas recién trasplantadas sufran demasiado estrés (2).

i. Aplicación de la solución nutritiva y riego

En cultivos hidropónicos de sustrato sólido se debe aplicar la solución nutritiva todos los días; durante una semana, se deberá aplicar la solución nutritiva durante 6 días y el séptimo día se deberá regar únicamente con agua pura (sin la solución nutritiva) y debe aplicarse el doble de volumen empleado en aplicar la solución nutritiva. La aplicación de la solución nutritiva puede realizarse manualmente por medio de regaderas plásticas o por medio de sistemas sofisticados con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador de aplicación. Se debe aplicar siempre la solución nutritiva en las primeras horas del día (por ejemplo a las siete de la mañana) y si es necesario en días muy calurosos se deberá regar también en las horas de la tarde (2).

ii. Aireación

En el sistema de sustrato sólido al aplicar diariamente la solución nutritiva y con el paso del tiempo se van formando costras sobre la superficie del sustrato que impiden que el aire penetre en sus espacios porosos limitándose así la toma de alimentos y agua. Para evitar esta situación se escarda muy superficialmente dos o tres veces por semana entre los surcos de las plantas, teniendo el cuidado de no hacer daño a las raíces (2).

iii. Luz

La luz es vital para el crecimiento de las plantas, pero no todas necesitan la misma cantidad de luz. Es conveniente que los cultivos reciban la mayor cantidad posible, especialmente en invierno debido a la alta nubosidad por lo que es aconsejable colocar las cajas en lugares claros, libres de interferencia de la luz directa del sol. En lugares abiertos debe procurarse que no de el sol a pleno durante todas las horas del día; se debe recordar que existen especies que se desarrollan mejor a la sombra (2).

3.1.6 NUTRIENTES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS

A. Nitrógeno

Es absorbido por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) y en forma de amonio (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 ión puede causar daños fisiológicos a las plantas. Las principales fuentes de nitrógeno son el nitrato de potasio pero es muy difícil y caro conseguirlo en pequeñas cantidades, proporciona nitrógeno en forma de nitrato y potasio. El nitrato de calcio solo puede conseguirse como reactivo analítico, lo cual hace imposible su uso a escala comercial; es una fuente satisfactoria de nitrógeno y calcio soluble, además es muy higroscópico. El nitrato de sodio es una buena fuente de nitrógeno pero el sodio que entra en la solución solo va a incrementar el contenido de sales sin contribuir a la nutrición de las plantas. El nitrato de amonio aunque contiene iones de nitrato y amonio no se recomienda su uso como fuente exclusiva de nitrógeno ya que la proporción de nitratos es elevada. El sulfato de amonio es muy barato y fácil de conseguir puede proporcionar la cantidad necesaria de amonio en la solución, acidifica la solución y proporciona también parte del azufre necesario. El fosfato monoamónico (11-48-0) y fosfato diamónico (18-46-0) aunque se utiliza como fuente de fósforo es un buen complemento de nitrógeno en forma amoniacal. La urea es utilizada principalmente en la producción de forrajes en hidroponía (10).

B. Fósforo

Es asimilable por las plantas como ión fosfato (PO_4)⁻. Sus principales fuentes son superfosfato de calcio que es barato y fácil de conseguir, contiene calcio, azufre y varios microelementos como impurezas pero es de baja solubilidad (difícil de disolver). El superfosfato de calcio triple contiene más fósforo que el superfosfato simple, pero, menos impurezas, su precio es más elevado y siempre difícil de disolver. El fosfato de amonio y fosfato diamónico son más fáciles de disolver que el fosfato de calcio simple y el superfosfato de calcio triple, proporciona nitrógeno amoniacal. El ácido fosfórico normalmente es una fuente suplementaria de fósforo, utilizada para regular el pH, en vez del ácido sulfúrico, se utiliza como solución débil (10).

C. Potasio

Sus principales fuentes son nitrato de potasio y sulfato de potasio es barato y fácil de conseguir, proporciona también azufre. Se puede usar cloruro de potasio pero se debe tener cuidado que no se eleve el contenido de cloro de la solución ya que puede ocasionar toxicidad a las plantas (10).

D. Calcio

Las principales fuentes de calcio son nitrato de calcio muy soluble pero no se consigue en el mercado como fertilizante comercial. Superfosfato simple y triple proporcionan una buena cantidad de calcio, pero es difícil de diluir. El sulfato de calcio (yeso) es difícil de diluir, es barato y fácil de conseguir. El cloruro de calcio se recomienda como fuente suplementaria, porque eleva el contenido de cloro en la solución (2).

E. Azufre

Utilizado por las plantas en forma de sulfatos (SO_4)⁻. Las plantas presentan límites de tolerancia amplia para el azufre, por lo tanto no se contabiliza al hacer la solución nutritiva casi nunca se contabiliza pues se considera que siempre queda dentro de los límites adecuados. Sus principales fuentes son sulfato de magnesio, sulfato de potasio y superfosfato (2, 10).

F. Magnesio

Sus principales fuentes son sulfato de magnesio, es usado exclusivamente en hidroponía como fuente de magnesio debido a su solubilidad, bajo costo y accesibilidad. El nitrato de magnesio es más caro y difícil de conseguir en el mercado que el sulfato de magnesio (10).

G. Hierro

Tiene tres fuentes principales: sulfato ferroso donde la solución debe tener un pH menor de seis para disolver bien. Es la fuente más barata de hierro. El cloruro férrico, es más caro que el sulfato ferroso y difícil de conseguir. Los quelatos proporcionan hierro asimilable por períodos de tiempo más largos que el sulfato ferroso y previenen la precipitación de fósforo, su precio es elevado (2).

H. Manganeso

En la solución nutritiva, es proporcionado como sulfato, cloruro o quelatos de manganeso (2).

I. Boro

Se asimila como borato (BO_3^-) y sus principales fuentes son el ácido bórico, y el bórax (tetraborato de sodio) (2).

J. Cobre

Sus principales fuentes son el sulfato y cloruro de cobre.

K. Zinc

Se aporta a la solución como sulfato o cloruro de zinc.

L. Molibdeno

Es requerido en pequeñas cantidades, se encuentra como impurezas en otros fertilizantes y por lo tanto no requiere de fuente adicional (10).

3.1.7 EL CULTIVO DE LECHUGA

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, aunque hoy día los botánicos no se ponen de acuerdo, por existir un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas. Las variedades actualmente cultivadas resultan de una hibridación entre especies distintas. El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI (7).

A. Taxonomía

Reino: Plantae

Subreino:	Embryobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	Lactuca
Especie:	<i>Lactuca sativa</i> L.

B. Descripción botánica

La lechuga es una planta herbácea, anual y bianual, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Se reporta que las raíces principales de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 centímetros. La raíz principal llega a medir hasta 1.80 m por lo cual se explica su resistencia a la sequía. Llega a tener hasta 80 cm de altura (9).

Las hojas de la lechuga son lisas, sin pecíolos (sésiles), arrosetadas, ovales, gruesas, enteras y las hojas caulinares son semiamplexicaules, alternas, auriculado abrazadoras; el extremo puede ser redondeo rizado. Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo de cultivar. El tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo cuando existen altas temperaturas (mayor de 26 °C) y días largos (mayor de 12 horas) el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia (9).

La inflorescencia está constituida de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo. Las semillas son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia de oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) para inducir la germinación. El fruto de la lechuga es un aquenio, seco y oblongo (7, 9).

Hay aproximadamente 800 semillas por gramo en la mayoría de las variedades de lechuga y se puede adquirir como semillas propiamente dichas o como semillas peletizadas. Las semillas peletizadas

consisten en semillas cubiertas por una capa de material inerte y arcilla. Una vez que el pellet absorbe agua, se rompe y se abre permitiendo el acceso inmediato de oxígeno para una germinación más uniforme y mejor emergencia. Alguna cubierta de la semilla requiere extender su rango de temperatura y su velocidad de germinación. Las semillas peletizadas mejoran la forma, el tamaño y la uniformidad de la semilla para tener plántulas más homogéneas y fácil de manipular. El tamaño aproximado de la mayoría de las semillas peletizadas es de 3.25 a 3.75 mm de ancho (7, 9).

C. Composición química de la lechuga

En el Cuadro 2 se presenta el valor nutricional de la lechuga por cada 100 gramos de materia seca.

Cuadro 2. Composición química de la lechuga por cada 100 gramos de materia seca.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina C (mg)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Fuente: Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria (4).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

A. Localización del ensayo

La presente investigación se realizó en la Finca del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), que se localiza en la aldea Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala y cuya vía de acceso es a través de la carretera que conduce al municipio de San Raymundo, Guatemala (Figura 1) (8).

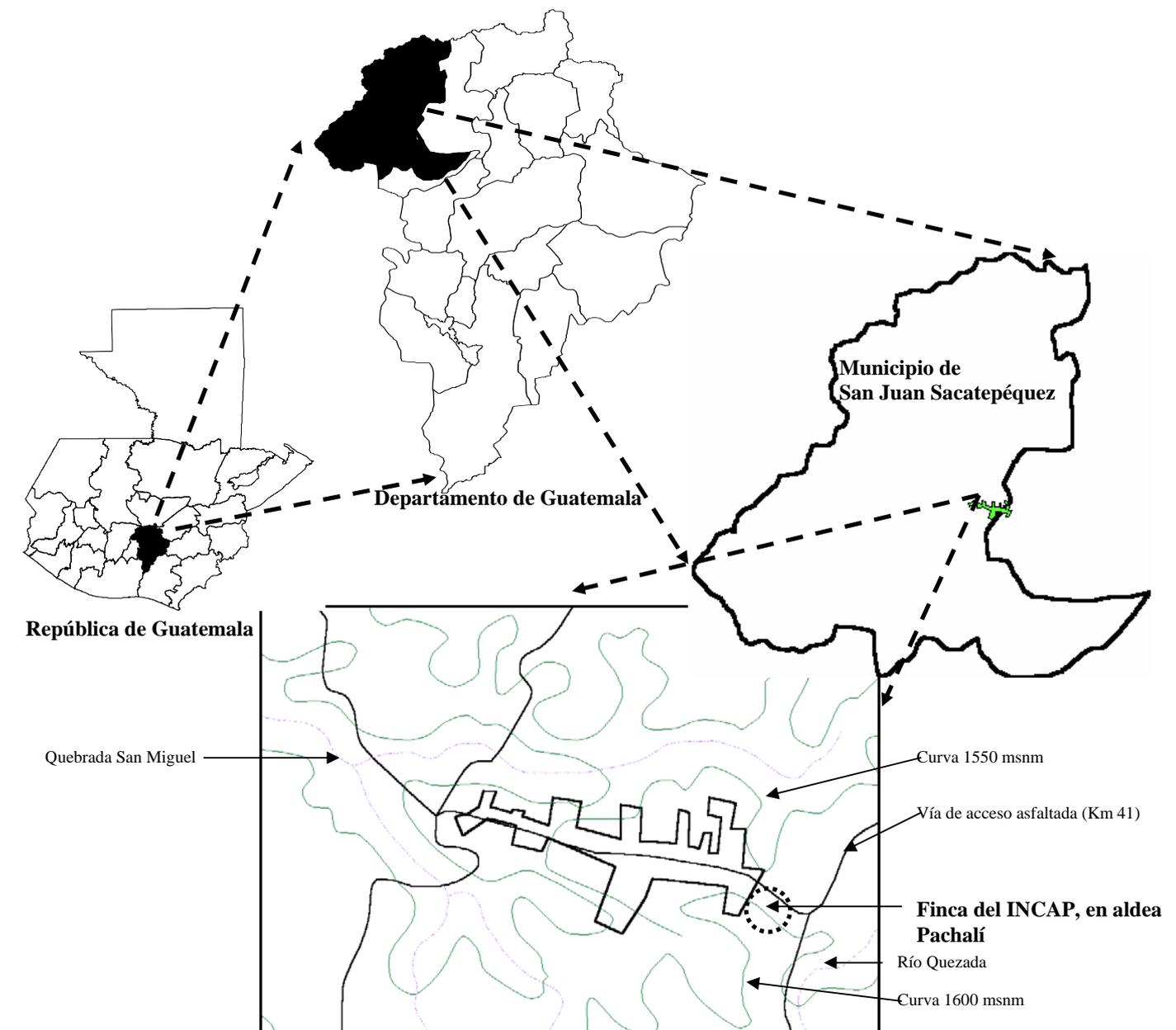


Figura 1. B. Ríos Localización de la Finca del INCAP donde se realizó el experimento de hidroponía.

La aldea pachalí se encuentra rodeada por tres corrientes de agua natural; la quebrada San Miguel rodea a la aldea al norte, oeste y sur y el río Quezada se localiza fuera de la aldea al sur-este (8).

C. Suelos

Los suelos de la finca experimental del INCAP, según Simmons (12), pertenecen a la serie Cauque, se caracterizan por ser originados de ceniza volcánica de color claro, con relieve fuertemente ondulado a escarpado, clase textural franca friable de 20 a 40 centímetros de profundidad, el drenaje interno es bueno.

La región fisiográfica en que se ubica la finca del INCAP pertenece a las tierras altas cristalinas, con material parental de rocas ígneas intrusivas graníticas a dioríticas, la morfogénesis fue originada por cuerpos intrusivos y la posterior erosión hídrica que ha causado la denudación de ésta unidad (8).

D. Uso de la tierra

El uso de la tierra en la finca experimental está dedicado a la investigación agrícola en diversos proyectos tales como: hidroponía, agricultura orgánica, producción de bokashi, lombricultura, desecación solar de frutas y verduras, alternarivas alimenticias con plantas de la familia cactaceae (8).

3.2.2 SOLUCIÓN NUTRITIVA UTILIZADA

La solución nutritiva para el experimento de cultivo hidropónico de lechuga en los sustratos líquido y sólido es la utilizada y comercializada por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, la cual contiene los elementos y concentraciones que se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de la solución concentrada y diluida del INCAP en partes por millón (5).

	Solución Concentrada	Solución Diluida
Nitrógeno	73373.9	310.0
Fósforo	20987.4	105
Potasio	42537.8	213
Calcio	45778.0	228.9
Magnesio	41570	83.1
Hierro	628	1.3
Zinc	68	0.1
Manganeso	163	0.3
Cobre	31	0.1
3.2.3 MATERIAL EXPERIMENTAL	271	0.5

A. Variedad de lechuga Salinas

Hoja arpeollada, compacta, cabeza de tamaño medio a grande, fácil de ser transportada, con relación a las otras variedades es más resistente al ataque a enfermedades u otro agente patógeno, color

verde intenso uniforme, sabor dulce y muy agradable a paladar, su crecimiento 98 días desde su germinación (6).

B. Variedad de lechuga Bounty

Cultivo de apariencia arrepollada, semi compacta, de colores que oscilan entre el verde intenso y pálido, sabor dulce, muy demandada en restaurantes por su apariencia, se le conoce como hoja de mantequilla, su crecimiento oscila entre 90 a 98 días desde su germinación a la cosecha (6).

C. Variedad de lechuga Grand Rapids

Es una variedad de lechuga de hoja suelta con características muy arrugadas y presenta la forma más o menos de una rosa. Es una variedad muy precoz y se adapta a climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varía según su cuidado y las condiciones climáticas prevalecientes. Presenta una coloración verde pálido pero su forma es muy agradable. La base del tallo es mas o menos delgada y la formación de las hojas es de una forma espiralada. Se puede cultivar muy bien en suelos limosos aunque se ha demostrado que también en suelos arenosos que presenten una pequeña fracción de materia orgánica. De todas las variedades de hoja suelta es la que presenta mayor aceptabilidad para decoraciones de alimentos es restaurantes, aunque se puede consumir preparándola en forma de ensalada, presentando una alternativa más para su utilización ya que su sabor es bastante aceptable (6).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar la respuesta de tres variedades de lechuga *Lactuca sativa L.* (Salinas, Bounty y Grand Rapids) cultivadas en sustratos líquido y sólido bajo condiciones hidropónicas.

4.2 ESPECÍFICOS

- 4.2.1 Determinar el porcentaje de pegue al transplantar las variedades de lechuga en los sistemas hidropónicos evaluados.
- 4.2.2 Establecer en cual de los sustratos evaluados se obtiene el máximo rendimiento de lechuga.
- 4.2.3 Establecer cual de las tres variedades de lechuga ofrece el mayor rendimiento por parcela neta, independientemente del tipo de sustrato empleado.
- 4.2.4 Establecer cual de las tres variedades de lechuga y en que sustrato ofrece la mayor rentabilidad.

5. HIPÓTESIS

- 5.1 Luego de transplantadas las lechugas al sustrato definitivo se tendrá el mismo porcentaje de pegue.
- 5.2 Los sustratos líquido y sólido empleados en el cultivo hidropónico ofrecen las mismas condiciones para el crecimiento y desarrollo de la lechuga.

6. METODOLOGÍA

6.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento para evaluar el rendimiento de tres variedades de lechuga en sustratos líquido y sólido bajo condiciones hidropónicas se realizó en la finca del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), la cual se localiza en la aldea Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala y dista del centro de la capital a 41 kilómetros por la carretera que conduce a San Raymundo, Guatemala.

6.2 TRATAMIENTOS EVALUADOS

Se evaluaron dos factores, el A y el B; el factor A contiene dos niveles de sustratos hidropónicos y el factor B tres niveles de variedades de lechuga, que hacen un total de seis tratamientos.

6.2.1 DESCRIPCIÓN DE FACTORES Y NIVELES EVALUADOS

Factor A: “Parcela Grande” tipo de sustrato hidropónico

A1: *Sustrato líquido.*

A2: *Sustrato sólido (50 % de arena pómez y 50 % de cascarilla de arroz).*

Factor B: “Parcela Pequeña” variedades de lechuga *Lactuca sativa* L.

B1: *Salinas*

B2: *Bounty*

B3: *Grand Rapids*

6.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS 6 TRATAMIENTOS

En el Cuadro 4, se presenta la descripción de los seis tratamientos evaluados producto de la combinación de los dos factores, tipo de sustrato y variedades de lechuga.

Cuadro 4. Codificación y descripción de los tratamientos evaluados

# Tratamiento	Codificación	Descripción
1	A1B1	Lechuga variedad salinas con sustrato líquido.
2	A1B2	Lechuga variedad Bounty con sustrato líquido.
3	A1B3	Lechuga variedad Grand Rapids con sustrato líquido.
4	A2B1	Lechuga variedad salinas con sustrato sólido.
5	A2B2	Lechuga variedad Bounty con sustrato sólido.
6	A2B3	Lechuga variedad Grand Rapids con sustrato sólido.

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para efectuar la presente investigación se utilizó el diseño de bloques al azar bifactorial, con arreglo en parcelas divididas, utilizando dos niveles para el factor A y tres niveles para el factor B, con un total de seis tratamientos distribuidos en cuatro repeticiones.

6.3.1 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ijk} = U + B_i + A_j + B_k + A_{bjk} + E_{ij} + E_{ijk}$$

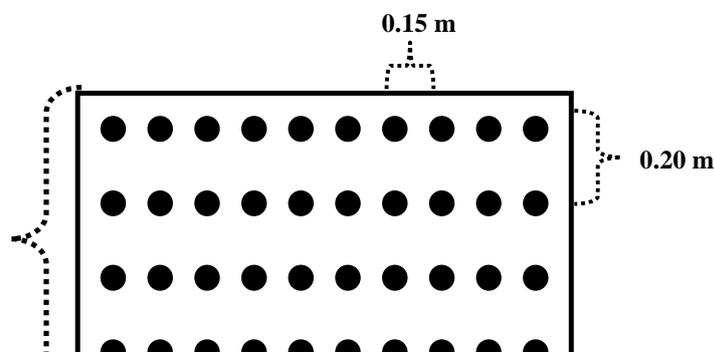
Donde:

- Y_{ijk}:** Variable de respuesta del i-esimo bloque, j-esimo sustrato hidropónico, y k-esima variedad de lechuga.
- U:** Efecto de la media general.
- B_i:** Efecto del i-esimo bloque.
- A_j:** Efecto de j-esimo sustrato hidropónico.
- B_k:** Efecto de la k-esima variedad de lechuga.
- AB_{jk}:** Efecto de la interacción entre el j-esimo sustrato hidropónico y la k-esima variedad de lechuga.
- E_{ij}:** Error experimental asociado a la parcela grande, tipo de sustrato hidropónico.
- E_{ijk}:** Error experimental asociado a la parcela pequeña, variedad de lechuga.

6.4 DETALLE DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo constituida por una caja de madera de 80 centímetros de ancho por 150 centímetros de largo que ofrece un área de 1.20 m², en la cual se dispusieron 40 lechugas a una distancia de 15 centímetros entre plantas y 20 centímetros entre surcos tal como se muestra en la Figura 2.

La parcela bruta está constituida por 4 surcos con 10 lechugas cada uno para un total de 40 lechugas por caja. La parcela neta se conformó por los dos surcos centrales, quitando dos lechugas en la cabecera de cada surco, lo cual hace un total de 12 lechugas distribuidas en un área de 0.36 m² (0.90 m x 0.40 m).



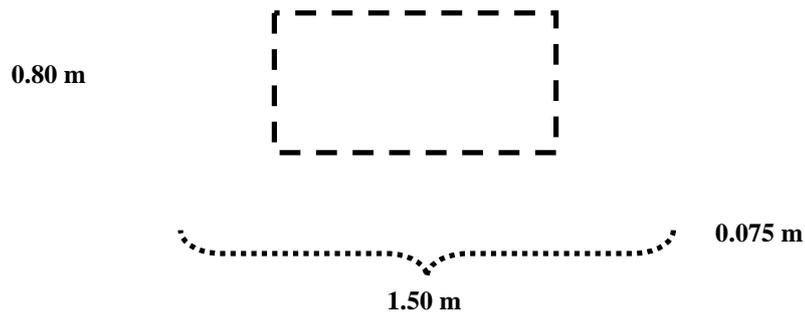


Figura 2. Detalle de la unidad experimental.

6.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CAMPO

En la Figura 3, se presentan las unidades experimentales de cada tratamiento según la distribución bifactorial de bloques al azar en parcelas divididas.

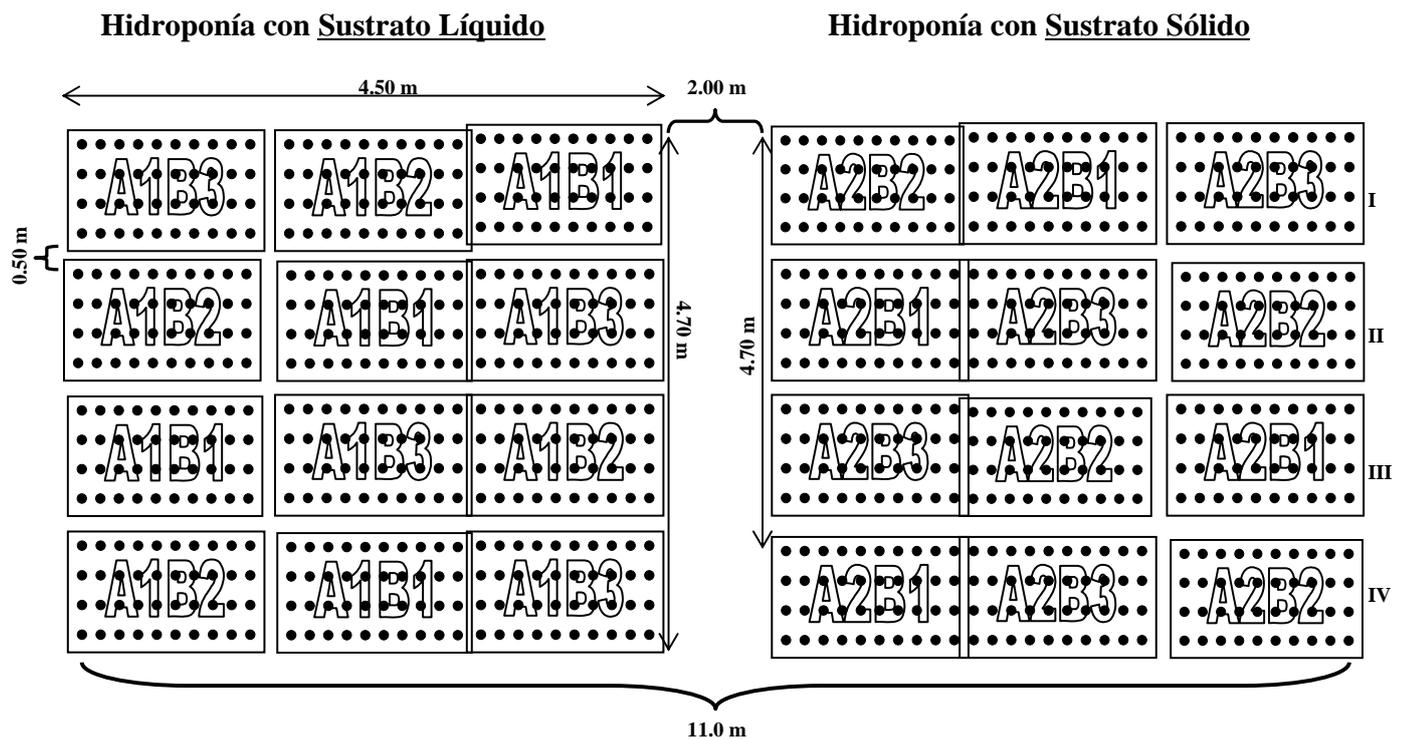


Figura 3. Distribución de los tratamientos en el campo.

Cada parcela grande (tipo de sustrato hidropónico) tiene un área de 21.50 m^2 (4.70 m de largo por 4.50 m de ancho) y consta cada una de ellas de 12 unidades experimentales; entre bloques existe un espacio de 0.50 m. Entre cada una de las dos parcelas grandes existe un espacio de 2.00 m. El área total

del experimento es de 51.70 m² (11 m de largo por 4.70 m de ancho) y contiene un total de 24 unidades experimentales.

6.6 VARIABLES DE RESPUESTA

- Porcentaje de pegue (8 días después del trasplante).
- Altura de planta a la cabeza al momento de la cosecha en centímetros.
- Diámetro de cabeza al momento de la cosecha en centímetros.
- Rendimiento en fresco por parcela neta en kilogramos.

6.7 MANEJO DEL EXPERIMENTO

En términos generales el manejo del ensayo consistió en la elaboración de las 24 cajas, el semillero de lechuga, la preparación de cajas con el sustrato, trasplante de las lechugas y manejo.

6.7.1 ELABORACIÓN DE 24 CAJAS

Para la elaboración de las cajas se cortaron con un serrucho tablas de 1.27 centímetros de grosor (media pulgada) y 12 centímetros de ancho como se indica en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Medidas de las tablas y cantidad para elaborar 1 y 24 cajas

Largo de la tabla y código	Función	Número de tablas para armar	
		1 Caja	19 Cajas
80 cm (A)	Costados (ancho) del marco y patas	6	144
153 cm (B)	Costados (largo) del marco y fondo	7	168
Total de tablas		13	312

A. Armado de la caja

Paso a: Para armar el marco se clavaron dos tablas de 80 cm “A” opuestas a dos 2 tablas de 153 cm “B”; las tablas “A” se clavaron en la parte interior de las dos tablas (B), para que las dimensiones interiores de la caja fueran de 80 cm x 150 cm Figura 4a.

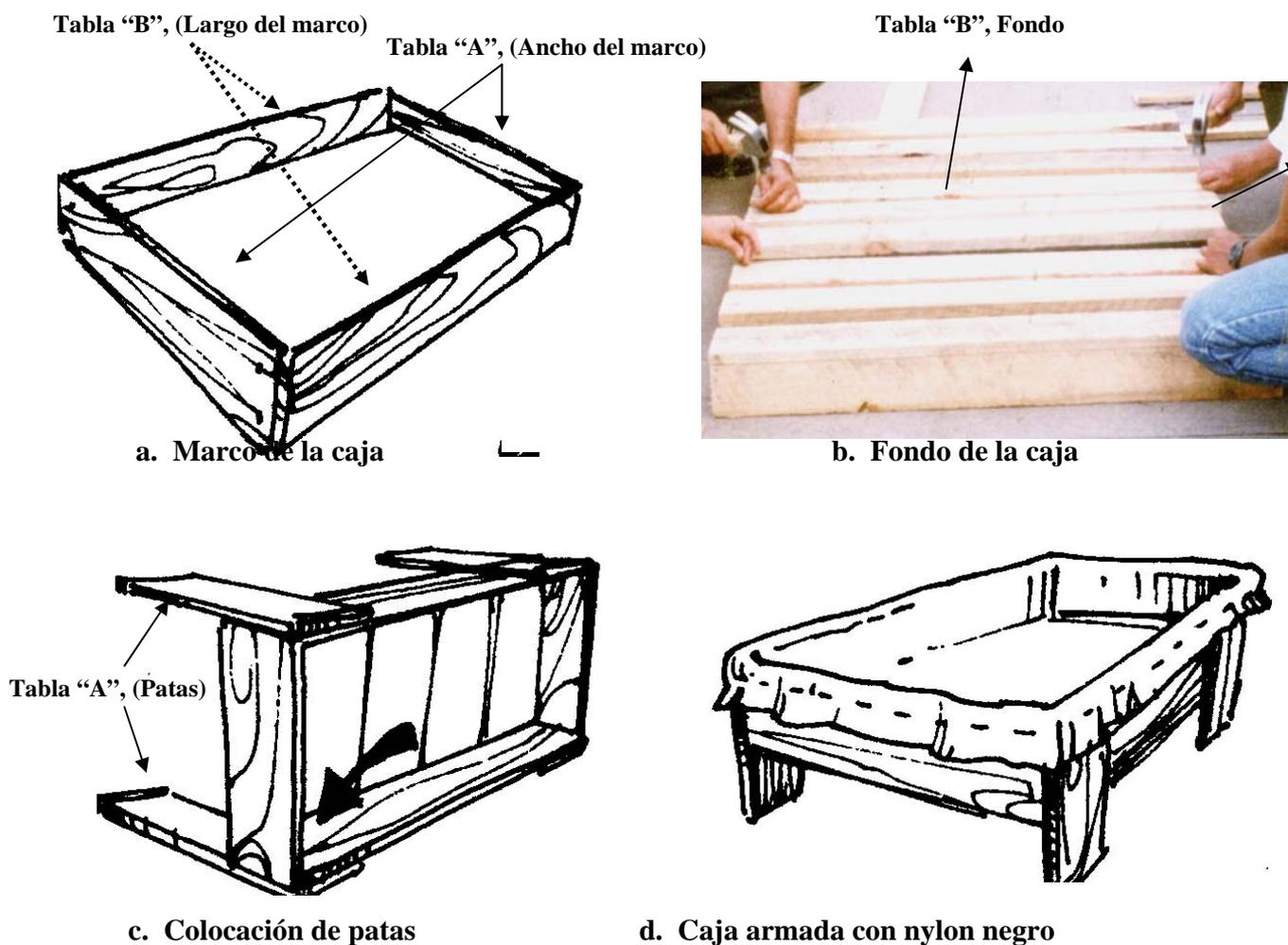


Figura 4. Armado secuencial de la caja para el ensayo de hidroponía.

Paso b: Posteriormente se clavarón para el fondo del marco 5 tablas “B” de 153 cm de largo; la colocación de estas tablas se realizó perpendicular al largo de la caja como se ilustra en la Figura 4b.

Paso c: En cada uno de los cuatro extremos de la caja se colocó una tabla “A” de 80 cm de largo para formar las patas; las tablas se clavarón de adentro de la caja hacia fuera, esto con la finalidad de evitar que las puntas de los clavos rompieran el nylon negro colocado en el interior de la misma (Figura 4c).

Paso d: Se cortó nylon negro con dimensiones de 104 cm de ancho y 174 cm de largo para colocarlo en la parte interior de la caja y sujetado en la parte exterior mediante grapas tal como se muestra en la Figura 4d.

6.7.2 PREPARACIÓN DEL SEMILLERO

La preparación del semillero se realizó de igual forma que la preparación de las 24 cajas que sirvieron para el cultivo de lechuga en sustrato sólido, por lo que en éste acápite se indica la metodología para ambas actividades; aunque es importante indicar que la preparación de las cajas con sustrato sólido para el transplante definitivo se realizó 13 días después de sembradas las semillas de lechuga.

A. Lavado del sustrato

El sustrato empleado para el semillero y las cajas con sustrato sólido fue de 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{8}$ de diámetro en proporción volumen volumen; se escogió la cascarilla de arroz por ser un material de baja densidad y la arena blanca por su facilidad para guardar humedad. Cada caja se llenó con un volumen de 0.06 m^3 de arena y 0.06 m^3 de cascarilla de arroz. Por todo el experimento (13 cajas incluyendo la del semillero) se utilizaron 0.78 m^3 de arena blanca y 0.78 m^3 de cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz se regó y volteó diariamente durante ocho días, luego se realizó al noveno día un último riego profundo a fin de dejar bien limpia la cascarilla de arroz. La arena blanca también se lavó pero solamente una vez con riegos sucesivos hasta que el agua salió cristalina.

B. Llenado de la caja con el sustrato y siembra de la semilla de lechuga

Con la arena y la cascarilla de arroz lista, se procedió a colocarla bien humedecida dentro de las cajas, depositando 0.012 m^3 de cada sustrato a la vez a fin de lograr una mezcla homogénea. Luego se procedió a nivelar la superficie del sustrato con una tabla lisa de madera. Se trazaron 15 surcos de 70 cm de largo a lo ancho de la caja, en cada surco se colocaron 70 semillas de lechuga a una distancia de 1 cm y medio cm de profundidad, luego se procedió a tapar los surcos con una capa delgada de sustrato, se apelmazó suavemente con la palma de la mano y se regó con agua limpia, después se tapó el semillero con hojas de papel periódico y se sostuvo en las esquinas con trocitos de madera, finalmente se procedió a regar (solamente con agua) dos veces diarias sobre el periódico durante 5 días período en que germinaron las semillas de lechuga.

C. Cuidado de las plántulas en el semillero

Las semillas sembradas en el semillero germinaron a los 6 días después de la siembra y en este momento se retiró el papel periódico.

A partir del sexto día de sembradas las semillas de lechuga y hasta los 22 días se procedió a regar diariamente con solución nutritiva que comercializa en INCAP y cuya composición se indicó en el Cuadro 3:

- Se regó durante seis días con solución nutritiva a las 7:30 de la mañana. La solución nutritiva del INCAP para el riego consistió en 5 cc de solución A (macronutrientes) y 2 cc de solución B (micronutrientes) por cada litro de agua. Para regar el semillero se emplearon diariamente 1.5 litros de agua, por lo tanto se aplicaron 7.5 cc de solución A y 3 cc de solución B. En total durante la fase de semillero se regó con solución nutritiva durante 15 días.
- A los 7 y 14 y 21 días después de la siembra se aplicó solamente agua pura al semillero; sin embargo se aplicaron 3 litros de agua para lavar el exceso de sales.
- Diariamente se procedió a revisar las plantas en el semillero a fin de monitorear la presencia de plagas y/o enfermedades. Durante los 22 días que duró la fase de semillero no se detectó la presencia de plagas y enfermedades en el mismo.
- A los 3, 6, 10, 13, 17 y 20 días después del trasplante se realizó una escarda entre medio de los surcos por medio de un palo de madera a fin de permitir la aireación de las raíces de las plantas de lechuga.

6.7.3 TRANSPLANTE DE LAS PLÁNTULAS DE LECHUGA Y MANEJO HASTA LA COSECHA

Esta actividad se realizó de diferente forma según el sustrato empleado (líquido y sólido), el manejo desde el trasplante hasta la cosecha también fue diferente, por lo que primero se indicará el trasplante a las cajas con sustrato sólido y después se indicará el trasplante a las cajas con sustrato líquido. Importante es indicar que en ambos casos las plántulas de lechuga tenían 23 días desde el momento de la siembra y que ambas actividades se realizaron simultáneamente.

A. Trasplante de lechuga a cajas con sustrato sólido

a. Llenado de las cajas con sustrato sólido

Las 12 cajas de la parcela grande con sistema hidropónico de sustrato sólido se llenaron de forma similar a lo indicado en el inciso 6.7.2 referente al semillero, aplicando 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca previamente lavadas tal como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Tipo de sustrato utilizado y llenado de las cajas con sustrato sólido

b. Extracción de las plántulas de lechuga del semillero y transplante

Por medio de una pala plástica se extrajeron 40 plántulas de lechuga para cada una de las cajas con sustrato sólido; en total para las 12 cajas de la parcela grande con sustrato sólido se extrajeron un total de 480 plántulas de lechuga, esta actividad se realizó en horas de la tarde para evitar el estrés de las plantas. En cada caja se trazaron los puntos de siembra tal como se mostró en la Figura 2. Se abrió un agujero en cada punto marcado y se colocó una plántula de lechuga por agujero, luego se tapó el agujero con sustrato de los alrededores de la plántula.

c. Manejo de las lechugas en sustrato sólido

i. Aplicación de la solución nutritiva y riego

- Diariamente se aplicó la solución nutritiva a las 7:30 de la mañana. La solución nutritiva del INCAP para el riego consistió en 5 cc de solución A (macronutrientes) y 2 cc de solución B (micronutrientes) por cada litro de agua. La solución lista para aplicar a las plantitas contenía de

macronutrientes 310 ppm de nitrógeno, 105 ppm de fósforo, 213 ppm de potasio, 228.9 ppm de calcio, y 83.1 ppm de magnesio; de micronutrientes, 1.3 ppm de hierro, 0.1 ppm de zinc, 0.3 ppm de manganeso, 0.1 ppm de cobre y 0.5 ppm de boro. Para regar cada caja se emplearon diariamente 4 litros de agua, por lo tanto se aplicaron 20 cc de solución A y 8 cc de solución B. La fase de transplante definitivo duró 28 días, de los cuales 23 días se regó con solución nutritiva y 5 días únicamente con agua; para esta fase se emplearon por unidad experimental un total de 460 ml de solución A y 184 ml de solución B.

ii. Monitoreo de plagas y enfermedades

- Diariamente se procedió a revisar las lechugas a fin de monitorear la presencia de plagas y/o enfermedades. A los 35 días después de sembradas las semillas (13 días después del transplante) se apreció el inicio de una infestación de pulgones *Aphis sp.*, por lo que se procedió en las horas de la tarde a preparar una solución de detergente (10 gr de detergente por litro de agua) para impermeabilizar la superficie foliar y se aplicó sobre las lechugas por medio de un atomizador, luego se repitió la aplicación a los 16 y 21 días después del transplante, de ésta manera se logró controlar el brote de pulgones.

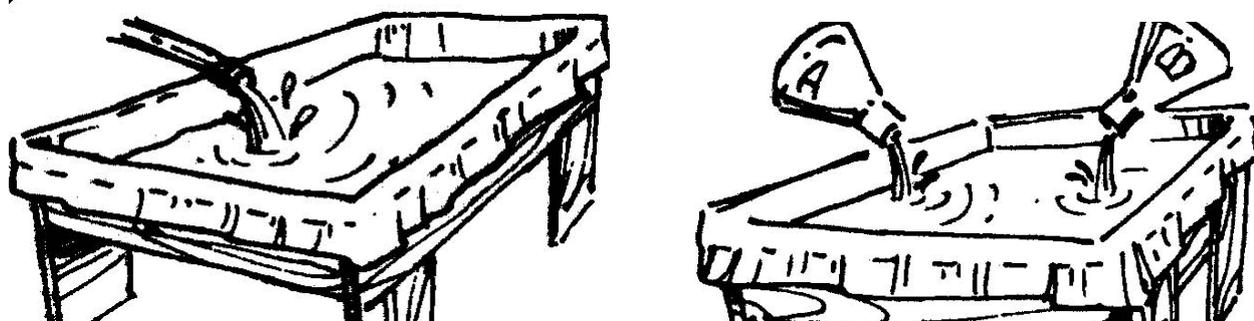
iii. Aireación del suelo

- Dos veces por semana se realizó una escarda entre medio de las lechugas a fin de permitir la aireación de las raíces de las plantas de lechuga.

B. Transplante de lechuga a cajas con sustrato líquido

a. Llenado de las cajas con sustrato líquido

Por cada caja se colocaron 108 litros de agua, luego se aplicaron 540 ml de solución A (macronutrientes) y se agitó adecuadamente durante 5 minutos a fin de obtener una buena dilución, luego se aplicaron 216 ml de solución B (micronutrientes) y se agitó para disolver adecuadamente los micronutrientes junto con los macronutrientes en la solución tal como se muestra en la Figura 6.



Aplicación de los 108 L de agua

Aplicación de la solución de Macro y Micronutrientes

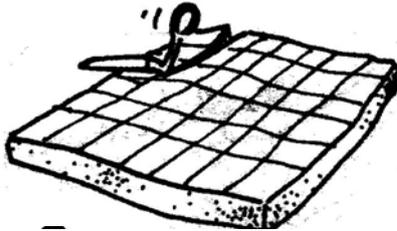
Figura 6. Llenado de la caja con 108 L de solución nutritiva

b. Preparación del duroport y esponja

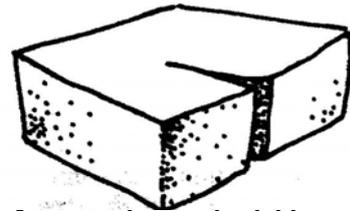
Se cortaron 12 planchas de duroport de 80 cm de ancho por 150 cm de largo y un grosor de media pulgada. En las planchas de duroport se marcaron 40 puntos para perforar por medio de un tubo caliente agujeros de 3 cm de diámetro tal como se muestra en la Figura 2. Se cortaron un total de 480 trozos de esponja de 3 cm por lado a los cuales se les realizó una incisión en centro para poder colocar la planta de lechuga tal como se muestra en la Figura 7.



Medición y corte de las planchas de duroport



Esponja para trocitos de 3 cm



Trocito de esponja con incisión

Figura 7. Preparación del duroport y esponja para el cultivo hidropónico de la lechuga en sustrato líquido.

Luego de preparadas las planchas de duroport con los agujeros se colocaron sobre la caja con sustrato líquido y quedaron listas para transplantar las lechugas.

c. Extracción de las plántulas de lechuga del semillero y trasplante

Las plántulas de lechuga se extrajeron del semillero por medio de una pala plástica tratando de no lastimar las raíces, luego cada una fue sumergida en agua limpia para eliminar los restos de sustrato presente en las raíces, posteriormente se colocaron en los cuadros de esponja y se introdujeron en los agujeros de las planchas de duroport tal como se ilustra en la Figura 8.

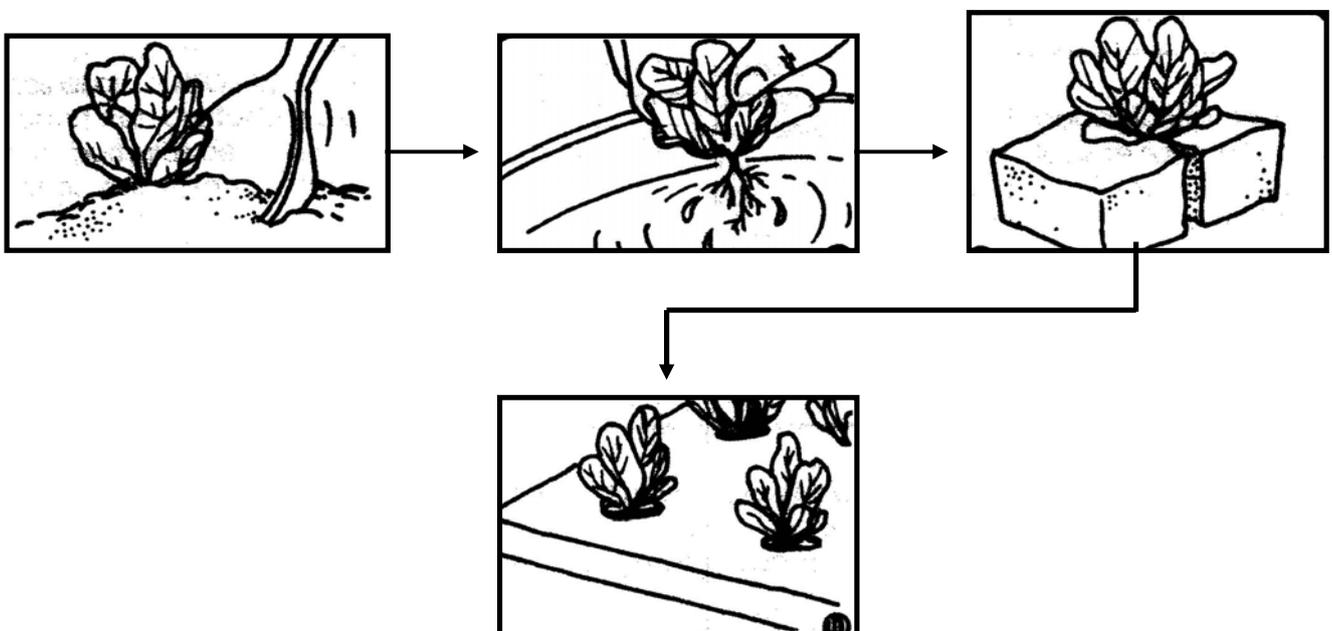


Figura 8. Secuencia del procedimiento de transplante de plántulas de lechuga a sustrato líquido.

d. Manejo de las lechugas en sustrato líquido

i. Aireación de la solución nutritiva

Diariamente a las 7:00 de la mañana y a las 4:30 de la tarde se agitó con la mano el agua dentro de las cajas hasta hacer burbujas, para lograr una adecuada aireación de la solución nutritiva se agitó el agua por término de un minuto y medio en cada oportunidad. En la aireación realizada en la tarde, si aún estaba haciendo sol se trató de que la radiación solar no incidiera directamente sobre las raíces de las plantas.

ii. Medición del pH

Al momento de aplicar por primera vez la solución nutritiva en las cajas se midió el pH de la solución, encontrándose éste en 7.00, se agregaron 7 mililitros de ácido sulfúrico 1 normal y el pH se estandarizó en 6.00 en la solución nutritiva, lo cual se realizó para facilitar la disponibilidad de iones en la solución.

Una vez por semana se revisó el pH de la solución nutritiva por medio de papel pHmetro y este indicó encontrarse aproximadamente en 6.00 por lo que no fue necesario la aplicación de ácidos o bases diluídas para ajustar el pH de la solución nutritiva.

iii. Medición de la conductividad eléctrica

La medición de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva se realizó a los 5, 12, 18 y 25 y 28 días después del transplante de las plantas de lechuga, para ello se removió la solución nutritiva por espacio de dos minutos a fin de airearla y homogenizarla, luego se colocó el conductívimetro dentro de la solución nutritiva por espacio de 45 segundos y luego se realizó la lectura. A continuación se presentan los resultados de cada una de las cuatro lecturas.

Lectura	Conductividad en mS/Cm
5 ddt	2.1
12 ddt	1.8
18 ddt	2.0
25 ddt	2.1
28 ddt	1.6

Como se aprecia el contenido de sales dentro de la solución nutritiva se mantuvo dentro del rango óptimo (1.5 a 2.5 mS/cm) recomendado para el crecimiento adecuado de cultivos hidropónicos, por lo que no fue necesario aplicar agua pura a la solución, como tampoco fue necesaria renovarla durante el tiempo que duró la fase de transplante (3).

iv. Aplicación de más solución nutritiva a las cajas

A los 12 días después del transplante el nivel de la solución nutritiva dentro de la caja había bajado, por lo que fue necesario aplicar en promedio por cada caja 15 litros adicionales de solución nutritiva, luego a los 18 días se aplicaron 17 litros de solución nutritiva y a los 25 días también se observó que la solución había bajado un poco pero no se aplicó más solución nutritiva puesto que tres días después serían cosechadas las lechugas. En total se adicionaron a la solución nutritiva inicial un total de 32 litros, para los cuales se emplearon 160 cc de solución A y 64 cc de solución B.

v. Monitoreo de plagas y enfermedades

Diariamente se revisó las plantas de lechuga en cada una de las cajas. A los 30 días después de sembradas las semillas (8 días después del transplante) se apreció el inicio de una infestación de pulgones por lo que se procedió en las horas de la tarde a preparar una solución de detergente (10 gr de detergente por litro de agua) para impermeabilizar la superficie foliar y se aplicó sobre las lechugas por medio de un atomizador, luego se repitió la aplicación a los 11 y 16 días después del transplante; un nuevo brote apareció a los 21 días después del transplante, por lo que nuevamente se aplicó solución de detergente ese mismo día y luego se repitió la aplicación tres días después (24 días después del transplante).

6.7.4 COSECHA

Esta se realizó a los 50 días después de sembradas las plantas (28 días después del transplante), para lo cual se procedió a cosechar lechuga por lechuga para tomar los datos pertinentes.

6.7.5 TOMA Y REGISTRO DE DATOS

A. Porcentaje de pegue

A los ocho días después del trasplante (30 días después de la siembra) se revisó cada unidad experimental de cada una de las dos parcelas grandes (tipo de sustrato) y se contó el número de lechugas que se encontraban desarrollándose normalmente (follaje verde, sano y en crecimiento) en relación a las 40 lechugas por unidad experimental.

B. Altura de la planta al momento de la cosecha

Desde la base inferior de la planta (cuello) hasta la parte superior de la cabeza de lechuga se midió con una regla en centímetros la altura de cada lechuga de la parcela neta (12 lechugas), se registró el dato promedio de altura por cada tratamiento y repetición.

C. Diámetro de cabeza al momento de la cosecha

Para medir el diámetro de la cabeza de lechuga se empleó un calibrador de base fija y extremo abatible graduado en centímetros; el calibrador se colocó en la parte media de cada una de las 12 lechugas y se registró el diámetro promedio por cada tratamiento y repetición.

D. Rendimiento en fresco por parcela neta

Las 12 lechugas se pesaron en una balanza con precisión de 1 gramo, para lo cual se cortó la raíz de cada lechuga y se midió únicamente el peso de la cabeza (parte comestible). Se sumó el peso de las 12 lechugas en cada unidad experimental y de esta manera se obtuvo el peso en fresco (kilogramos) de lechuga por parcela neta (0.36 m²).

Los valores de cada una de las variables de respuesta medidas en el campo se registraron en un cuadro como el que sigue:

Cuadro 6. Formato para el registro de datos de las variables de respuesta evaluadas

SIST. HIDR.	VARIEDAD	Tratamiento	Porcentaje de Pegue				Altura (Cm)				Diámetro (cm)				Rend. Kg/0.45 m ²			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Líquido	Salinas	A1B1																
	Bounty	A1B2																
	Grand rapids	A1B3																
Sólido	Salinas	A2B1																
	Bounty	A2B2																
	Grand rapids	A2B3																

6.8 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Las variables de respuesta, porcentaje de pegue, altura y diámetro de cabeza de lechuga, así como rendimiento de lechuga por unidad experimental fueron sometidas al análisis de varianza para un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. Para las variables de respuesta que el análisis resultó significativo al 95 % de confianza se realizó una prueba múltiple de medias de Tukey a fin de establecer que tratamiento ofreció mejores condiciones para la variable de respuesta en cuestión.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PORCENTAJE DE PEGUE DE LA LECHUGA EN LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS

El cien por ciento de las plantas transplantadas estaban vivas y adaptadas a cada uno de los dos tipos de sustrato a los ocho días después del transplante.

7.2 ALTURA DE LA CABEZA DE LECHUGA AL MOMENTO DE LA COSECHA

En el Cuadro 7, se presenta el resumen del análisis de varianza para la variable de respuesta altura de la cabeza de lechuga al momento de la cosecha.

Cuadro 7. Resumen de ANDEVA para la variable altura de la cabeza de lechuga en centímetros

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab ₍₀₅₎	Significancia
Bloques	3	1.29125				
Tipo de sustrato (A)	1	0.150416667	0.15041667	0.74228924	10.13	
Error A	3	0.607916667	0.20263889			
Parcela Grande	7	2.049583333				
Variedades de lechuga (B)	2	59.56583333	29.7829167	40.6207615	3.89	*
Interacción (A x B)	2	0.395833333	0.19791667	0.26993749	3.89	
Error B	12	8.80	0.73319444			
Total	23	70.81				
C.V. = 4.12 %						

Se aprecia en el Cuadro 7, que la altura de las lechugas desde la base hasta el extremo final de la cabeza, no fue influenciado por el tipo de sustrato (sustrato líquido y sustrato sólido) utilizado en el cultivo hidropónico de la misma, tampoco se presentan diferencias significativas entre la interacción de los tipos de sustrato (parcela grande) y las variedades de lechuga (parcela pequeña); pero, si se presentan diferencias al cinco por ciento de significancia entre las variedades de lechuga, es decir que al menos una variedad de lechuga de las tres evaluadas presenta una altura mayor que las demás, por lo que se procedió a realizar la prueba múltiple de medias de Tukey “variedades de lechuga” (Factor B).

En la Figura 9 se presentan los resultados de prueba múltiple de medias de Tukey al 5 % de significancia para la variable de respuesta altura de la cabeza de lechuga en centímetros.

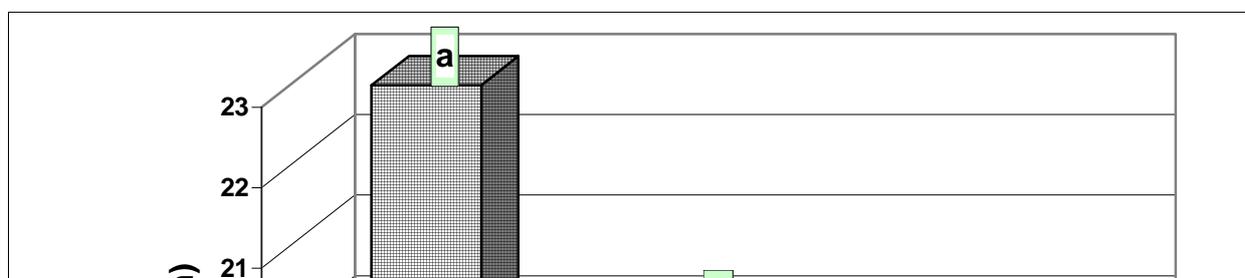


Figura 9. Resumen de la prueba de Tukey para la variable altura de la cabeza de lechuga.

Como se aprecia en la Figura 9, de las tres variedades de lechuga evaluadas la Grand Rapids presentó la mayor altura con 23.00 centímetros, estadísticamente diferente a las otras dos variedades al cinco por ciento de significancia. El segundo lugar en altura de la cabeza de lechuga lo ocuparon las variedades Salinas y Bounty con 19.98 y 19.41 centímetros respectivamente. Importante es indicar que las variedades de lechuga Salinas y Bounty son de cabeza arrellada en tanto que la variedad Grand Rapids es de hoja suelta, por lo que la diferencia en altura se debe principalmente al genotipo de ésta variedad.

7.3 DIÁMETRO DE LA CABEZA DE LECHUGA AL MOMENTO DE LA COSECHA

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de varianza efectuado para la variable de respuesta diámetro de la cabeza de lechuga al momento de la cosecha con una significancia del cinco por ciento.

Cuadro 8. Resumen de ANDEVA para la variable diámetro de la cabeza de lechuga.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab ₍₀₅₎	Significancia
Bloques	3	1.964583333				
Tipo de sustrato (A)	1	0.03375	0.03375	0.25025747	10.13	
Error A	3	0.404583333	0.13486111			
Parcela Grande	7	2.402916667				
Variedades de lechuga (B)	2	141.9375	70.96875	92.1838355	3.89	*
Interacción (A x B)	2	0.4575	0.22875	0.29713152	3.89	
Error B	12	9.24	0.76986111			
Total	23	154.04				

En el Cuadro 8, se aprecia que el diámetro de la cabeza de lechuga para las tres variedades es similar si se cultiva en un sistema hidropónico con sustrato líquido que en un sistema hidropónico con sustrato sólido, puesto que la F calculada para el tipo de sustrato es menor que la F tabulada ($0.25 < 10.13$) analizado a un 5 por ciento de significancia.

El diámetro de la cabeza de lechuga únicamente es influenciado según el tipo de variedad de lechuga que se cultive puesto que los resultados lo indican, por lo que al menos una variedad de lechuga presenta un diámetro diferente al de las demás. Para establecer que variedad de lechuga presenta el máximo diámetro de cabeza se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey con un cinco por ciento de significancia, la cual se presenta en la Figura 10.

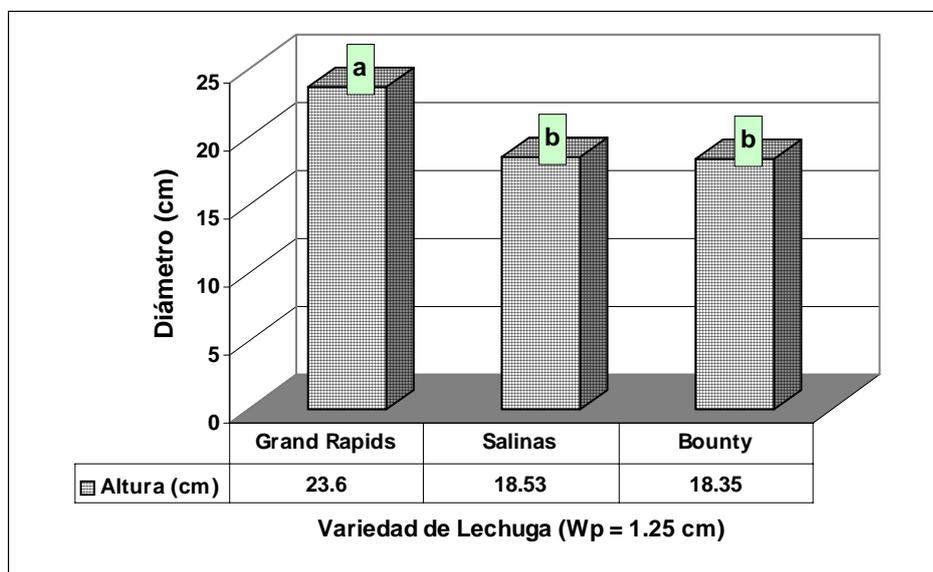


Figura 10. Resumen de la prueba de Tukey para la variable diámetro de la cabeza de lechuga.

En la Figura 10, se aprecia que estadísticamente al cinco por ciento de significancia la variedad de lechuga que presentó mayor diámetro fue la Grand Rapids con 23.60 centímetros; el segundo lugar lo ocuparon igualmente las variedades de lechuga Salinas y Bounty con diámetros de 18.53 y 18.35

centímetros respectivamente. Al igual que para la variable altura de la cabeza de lechuga y diámetro de la cabeza de lechuga, la variedad Grand Rapids fue la más grande y en segundo lugar y estadísticamente igual las variedades de Salinas y Bounty, la razón de esto como se indicó anteriormente se debe en sí a las características particulares de conformación de las hojas para éstas variedades (hoja compactas para Salinas y Bounty y hojas sueltas para Grand Rapids).

7.4 RENDIMIENTO EN FRESCO POR UNIDAD EXPERIMENTAL

En el Cuadro 9 se presentan el resumen del análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento en peso fresco de lechuga por parcela neta (0.36 m²).

Cuadro 9. Resumen de ANDEVA para la variable rendimiento de lechuga por parcela neta (kg/0.36 m²)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal	Ftab ₍₀₅₎	Significancia
Bloques	3	0.2716125				
Tipo de sustrato (A)	1	0.5310375	0.5310375	511.843373	10.13	*
Error A	3	0.0031125	0.0010375			
Parcela Grande	7	0.8057625				
Variedades de lechuga (B)	2	4.390433333	2.19521667	187.09233	3.89	*
Interacción (A x B)	2	0.0259	0.01295	1.10369318	3.89	
Error B	12	0.14	0.01173333			
Total	23	5.36				
C.V. = 3.96 %						

En el cuadro 9 se aprecia que el rendimiento de lechuga en kilogramos por parcela neta (0.36 m²) presenta diferencias significativas al cinco por ciento de significancia para el tipo de sustrato (511.84 > 10.13) y para las variedades de lechuga (187.09 > 3.89). Lo anterior significa, en el primer caso, que el rendimiento de lechuga es diferente según el tipo de sustrato que se utilice, es decir que no es lo mismo cultivar cualquier variedad de lechuga en un sistema hidropónico con sustrato líquido que con sustrato sólido; en el segundo caso, se refiere que al menos una variedad de lechuga presenta un rendimiento distinto al de las demás variedades.

Sin embargo, también se aprecia que el conjunto de las tres variedades de lechuga se comporta de forma similar en cada sustrato, es decir que la variedad que ocupa ya sea un primer, segundo o tercer lugar en un sustrato (por ejemplo líquido), también ocupa esa misma posición aunque con un rendimiento distinto en el otro sustrato (sustrato sólido), lo cual se interpreta como que no existió interacción entre el

tipo de sustrato y las variedades de lechuga, puesto que la F calculada fue menor que la F tabulada al cinco por ciento de significancia ($1.10 < 3.89$).

7.4.1 SUSTRATO MÁS APROPIADO PARA EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA

Puesto que hubo diferencias significativas para el tipo de sustrato, es decir que al menos un sustrato ofrece un mejor rendimiento que otro y considerando que solamente se tienen dos sustratos, es evidente pues que el mejor rendimiento se obtiene cultivando lechuga en sustrato sólido con 2.88 kg/0.36m².

El peso fresco promedio (peso de cada lechuga) de las lechugas cultivadas en sistema hidropónico con sustrato sólido es de 240.0 gramos (2,880 gr/12 lechugas) y en sistema hidropónico con sustrato líquido es de 215.0 gramos (2,580 gr/12 lechugas)

Es evidente pues que el sistema hidropónico con sustrato sólido es el más apropiado para cultivar cualquiera de las tres variedades de lechuga evaluadas (Salinas, Bounty y Grand Rapids). El hecho de que las lechugas cultivadas en sistema hidropónico con sustrato líquido tuvieran un menor rendimiento que las cultivadas en sustrato sólido puede deberse a algunas razones entre las cuales se puede mencionar las siguientes: el estrés que sufrieron las plántulas al cambiar del semillero (sustrato sólido) a las cajas con sustrato líquido; el posible estrés que pudieran haber sufrido las lechugas al exponer diariamente las raíces a la luz al momento de airear la solución nutritiva y al mismo movimiento de la plancha de duroport; también se observó que aunque los elementos nutritivos de la solución sean altamente hidrosolubles, previo a realizar la aireación de la solución nutritiva en el fondo de la caja se presentaba una ligera película de elementos no disueltos, por lo que la solución nutritiva es posible que no ofreciera la concentración definida de cada elemento; y, finalmente las plantas al absorber los nutrientes de la solución nutritiva fueron modificando, aunque sea levemente, el pH de la solución por el intercambio de iones hidronio (H⁺), lo cual se puede confirmar por medio del cambio en la conductividad eléctrica en la solución el cual es indicativo del contenido de sales presentes.

7.4.2 VARIEDAD DE LECHUGA CON MAYOR RENDIMIENTO EN CUALQUIER TIPO DE SUSTRATO

En la Figura 11, se presenta el resumen de la prueba múltiple de medias de Tukey que permite establecer que variedad de lechuga ofrece mayor rendimiento por parcela neta en cualquier tipo de los dos sustratos evaluados.

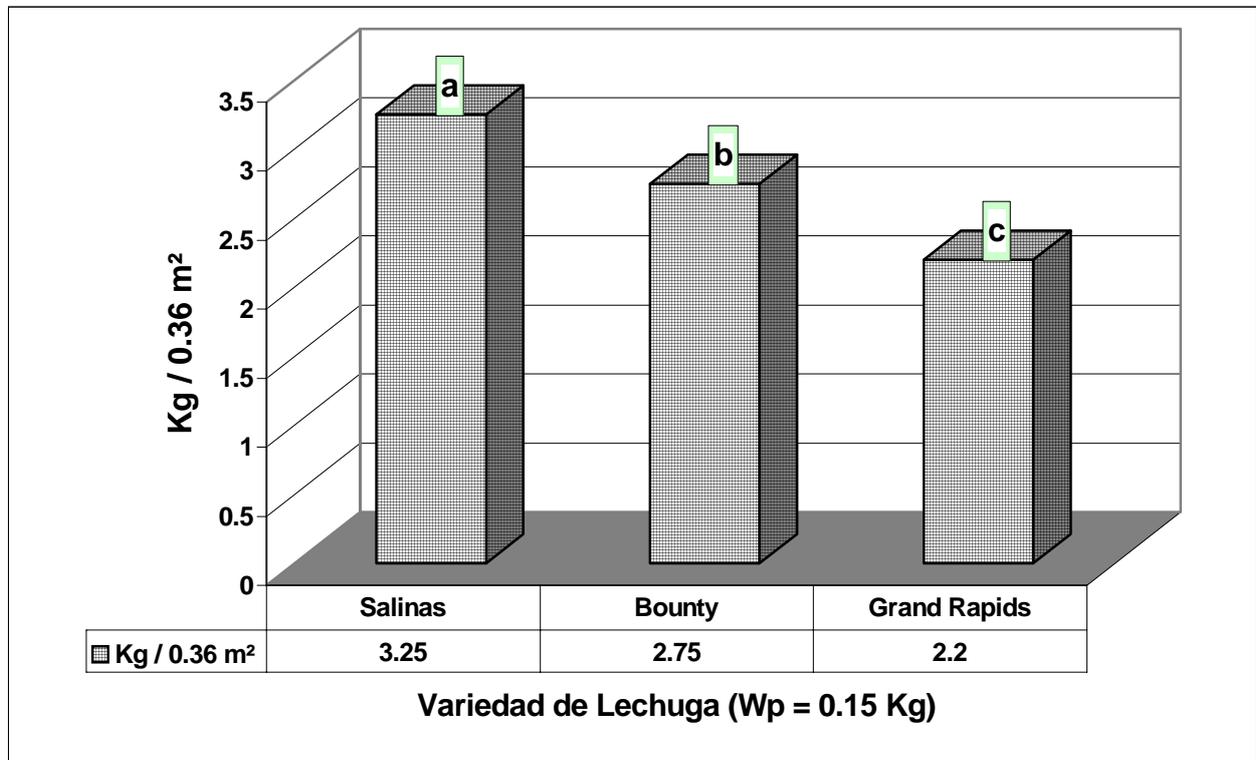


Figura 11. Resumen de la prueba de Tukey para la variable rendimiento en kilogramos de lechuga por parcela neta independientemente del tipo de sustrato empleado.

Como se aprecia en la Figura 12, la variedad de lechuga que ofreció el máximo rendimiento por unidad fue la Salinas con 3.25 kg/0.36 m², el segundo lugar lo ocupó la variedad Bounty con 2.75 kg/0.36 m² y en último lugar se encuentra la variedad Grand Rapids con 2.2 kg/0.36 m². El peso unitario promedio (peso de cada lechuga) fue de 270.83 gr (3,250 gr/12 lechugas) para la variedad Salinas, 229.16 gr (2,750 gr/12 lechugas) para la variedad Bounty y 183.33 gr (2,200 gr/12 lechugas) para la variedad Grand Rapids.

En el Cuadro 10, se presenta un resumen de las variables de respuesta analizadas anteriormente, esto con el fin de tener una visión global de cada una de las variedades de lechuga.

Cuadro 10. Altura, diámetro y peso unitario de las variedades de lechuga cultivadas hidropónicamente.

Variedad	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso/lechuga (gr)	Rendimiento (kg/0.36 m ²)
Salinas	19.98 b	18.53 b	270.83 a	3.25 a
Bounty	19.41 b	18.35 b	229.16 b	2.75 b
Grand Rapids	23.00 a	23.60 a	183.33 c	2.20 c

Nota: Letras iguales en una misma columna significa que las variedades son estadísticamente iguales.

Según el Cuadro 10, se aprecia que la variedad de lechuga Grand Rapids presenta las cabezas más grandes, tanto en altura como en diámetro pero a la vez esta variedad es la que ganó menos peso en los 50 días que duró el experimento (183.33 gramos por lechuga), esto se debe a que la variedad es de hojas sueltas acolochadas. Las variedades de lechuga Salinas y Bounty, ambas de tipo arrepollada, estadísticamente presentaron cabezas de similar altura y diámetro, sin embargo la variedad Salinas presentó estadísticamente al cinco por ciento de significancia mayor peso (270.83 gramos por lechuga) que la variedad Bounty con un peso de 229.16 gramos por lechuga; esta diferencia de peso para variedades de lechuga del mismo tipo y con alturas y diámetros de cabeza similares se debe en sí a la mayor capacidad de la variedad Salinas de transformar por medio del proceso fotosintético los elementos nutritivos del ambiente (sustrato y atmósfera) en biomasa.

7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el Cuadro 11, se presentan los costos de producción de lechuga bajo cultivo hidropónico con sustrato sólido y con sustrato líquido.

Cuadro 11. Costos de producción de lechuga bajo cultivo hidropónico por caja de 1.20 m².

Costos totales de sustrato líquido				
	Inversión	Depreciado/caja		Observación
Caja hidropónica	Q 135.00	Q 4.50		Vida útil de 5 años
Solución semillero	Q 1.35	Q 0.54		112.5 ml Sol A y 45 ml Sol B para 1050 lechugas
Manejo del semillero	Q 8.75	Q 0.49		2 horas (Q. 35.00/jornal)
Duroport y Esponja	Q 16.00	Q 4.00		Se utiliza para 4 ciclos de cultivo
Solución Transplante	Q 8.40	Q 8.40		700 ml Sol A y 280 ml Sol B por caja hidropónica
Manejo Transplante	Q 6.56	Q 6.56		1.5 horas (Q. 35.00/jornal)
Control de plagas	Q 2.00	Q 0.17		Lavasa de jabón para 12 cajas, incluye preparación
Agua	Q 4.32	Q 0.36		A Q. 40.00 los 30 m ³ (140 litros)
Renta Tierra	Q 12.60	Q 0.53		Q. 1,700 por manzana
Costo sin semilla	Q 194.98	Q 25.54		

Costos totales de sustrato sólido				
	Inversión	Depreciado/caja		Observación
Caja hidropónica	Q 135.00	Q 4.50		Vida útil de 5 años
Sustrato sólido	Q 15.00	Q 2.50		Se utiliza para 6 ciclos
Solución semillero	Q 1.35	Q 0.54		112.5 ml Sol A y 45 ml Sol B para 1050 lechugas
Manejo del semillero	Q 8.75	Q 0.49		12 horas (Q. 35.00/jornal) incluye preparación de cajas hidropónicas
Solución Transplante	Q 5.52	Q 5.52		460 ml Sol A y 184 ml Sol B por caja hidropónica
Manejo Transplante	Q 6.56	Q 6.56		1.5 horas (Q. 35.00/jornal)

Como se aprecia en el Cuadro 11, para producir lechugas bajo cultivo hidropónico en un área de 1.20 m², se tiene un costo (sin el valor de la semilla) de Q. 25.54 y Q. 23.40 por caja utilizando sustratos líquido y sólido respectivamente. Es importante indicar que el consumo de agua en sustrato líquido es mucho menor que en sustrato sólido, puesto que en sustrato sólido es necesario lavar el sustrato y es aquí donde se consume más agua (dos metros cúbicos).

En el Cuadro 12, se presenta el resumen de la rentabilidad para cada tratamiento.

Cuadro 12. Resumen de la rentabilidad obtenida en cada tratamiento

Tratamiento	Descripción	Semilla	Costo Fijo	Costo Total	Precio	Unidades	Ingreso Bruto	Ingreso Neto	Rentabilidad
A1B1	Sustrato líquido con Salinas	Q 0.03	Q 25.54	Q 25.57	Q 1.50	40	Q 60.00	Q 34.43	134.6
A1B2	Sustrato líquido con Bounty	Q 0.05	Q 25.54	Q 25.59	Q 1.50	40	Q 60.00	Q 34.41	134.5
A1B3	Sustrato líquido con Grand Rapids	Q 0.09	Q 25.54	Q 25.63	Q 1.60	40	Q 64.00	Q 38.37	149.7
A2B1	Sustrato sólido con Salinas	Q 0.03	Q 23.40	Q 23.43	Q 1.50	40	Q 60.00	Q 36.57	156.1
A2B2	Sustrato sólido con Bounty	Q 0.05	Q 23.40	Q 23.45	Q 1.50	40	Q 60.00	Q 36.55	155.9
A2B3	Sustrato sólido con Grand Rapids	Q 0.09	Q 23.40	Q 23.49	Q 1.60	40	Q 64.00	Q 40.51	172.5

Por cada caja de 1.20 m² con sustrato sólido cultivada con lechuga de hoja suelta de la variedad Grand Rapids se obtiene la mayor rentabilidad (172.5 %) y un ingreso neto de Q. 40.51, vendiendo cada lechuga a un precio de Q. 1.60. Es muy importante considerar que el precio de la lechuga es muy variable, ya que en un mismo mes se pueden tener precios en el mercado desde Q. 1.00 hasta Q. 3.00 por cabeza, así mismo, las variedades de hoja suelta pueden venderse a menor precio que las variedades de cabeza arropollada y viceversa. Sin embargo en un sondeo rápido de mercado realizado por el sustentante en el mercado de El Guarda y La Terminal en la ciudad de Guatemala, se tiene que en términos generales la lechuga de cabeza o arropollada es la que se comercializa en un 90 por ciento, específicamente de la variedad Salinas, en tanto que la lechuga de hoja se comercializa en un diez por ciento únicamente.

8. CONCLUSIONES

1. Las variedades de lechugas evaluadas (Salinas, Bounty y Grand Rapids) presentaron un 100 por ciento de pegue tanto en el sustrato líquido como en el sustrato sólido.
2. El mayor rendimiento promedio de las tres variedades de lechuga se obtiene al cultivar éstas en un sistema hidropónico con sustrato sólido compuesto por 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca en relación volumen/volumen, ofreciendo 2.88 kilogramos de lechuga en fresco por caja de 1.20 m².
3. El mayor rendimiento por caja de 1.20 m² lo obtuvo la variedad de lechuga Salinas, siendo éste de 3.25 kg, lo que equivale a 270.83 gr por cabeza.
4. La mayor rentabilidad se obtuvo al cultivar lechugas de la variedad Grand Rapids en sustrato sólido, siendo ésta de 172.50 %, con un ingreso neto por caja de 1.20 m² de Q. 40.51.
5. El tipo de sustrato no afecta significativamente la altura y diámetro de cabeza de lechuga, siendo la variedad Grand Rapids la de cabeza más grande pero de menor rendimiento (2.20 kg/1.20m²).

9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que al realizar cultivo hidropónico de lechuga se utilice sustrato sólido compuesto por 50 % de cascarilla de arroz y 50 % de arena blanca puesto que se tiene un menor costo total, se obtiene mayor rendimiento por caja y a la vez el manejo es más fácil y seguro.
2. Los agricultores y amas de casa pueden cultivar cualquiera de las tres variedades de lechuga (Salinas, Bounty y Gran Rapids) siempre y cuando utilicen cultivo hidropónico con sustrato sólido.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. BANGUAT (Banco de Guatemala, GT). 2002. Exportaciones FOB e importaciones CIF por partida específica, cultivo de zanahoria, lechuga 1999-2002. Guatemala. 1 p.
2. Castañeda, F; Valverde, C; García, L. 1997. Manual de cultivos hidropónicos populares: producción de verduras sin usar la tierra. Guatemala, INCAP. 32 p.
3. Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. 2000. Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.
4. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica. 2000. Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 17 mar. 2002. Disponible en http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html
5. Estrada Alarcón, RE. 2003. Caracterización de sustratos orgánicos e inorgánicos a nivel de región en Guatemala y su efecto en el rendimiento de hortalizas en cultivo hidropónico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 82 p.
6. FAXSA, MX. 2002. Variedades de lechuga (en línea). México. Consultado 17 mar. 2002. Disponible en <http://www.faxsa.com.mx/semhort1/c60le001.htm>
7. INFOAGRO, ES. 2002. El cultivo de la lechuga (en línea). España. Consultado 17 mar. 2002. Disponible en <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
8. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Sistemas de información geográfica. Guatemala, MAGA / UPIE / PEDN. 1 CD.
9. Malca, GO. 2001. Seminario de agronegocios, lechugas hidropónicas (en línea). Lima, Perú, Universidad del Pacífico. 96 p. Consultado 17 mar. 2002. Disponible en www.upbusiness.net.
10. Marulanda, CH. 1992. La huerta hidropónica popular, curso audiovisual. Santiago, Chile, OEA/PNUD. 118 p.
11. PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, HN); IIFM (Instituto de Investigaciones y Fomento Municipal, HN). 1997. Hidroponía popular, cultivos sin tierra, guía práctica. Nicaragua. 42 p.
12. Simmons, CH; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.

11. ANEXOS