

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

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CULTIVO HIDROPÓNICO, UTILIZANDO COMO SUSTRATO ARENA Y CASCARILLA DE ARROZ.

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

TESIS
POR
MELGIN CONRADO BAUTISTA ROMERO
EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, MARZO DEL 2,000

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Willian Roberto Escobar López
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
VOCAL CUARTO:	Prof. Jacobo Bolvito Ramos
VOCAL QUINTO:	Br. José Domingo Mendoza Cipriano
SECRETARIO:	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, marzo del 2,000

Honorable Junta Directiva
Honorable tribunal Examinador
Facultad de Agronomía

Señores miembros:

De manera más atenta y de acuerdo con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someterme a vuestra consideración el trabajo titulado.

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIETADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CULTIVO HIDROPÓNICO, UTILIZANDO COMO SUSTRATO ARENA Y CASCARILLA DE ARROZ

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

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para la aprobación, me suscribo,

Atentamente


Melgiri Conrado Bautista Romero

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Creador del universo y fuente de sabiduría.
- MIS PADRES:** Hortensia Romero de Bautista y Julián Bautista Ramírez, por el valioso apoyo incondicional que me brindaron, que este triunfo sea recompensa a sus innumerables esfuerzos y sacrificios.
- MIS HERMANOS:** Nery, Sergio, Julio, Boyton, Cleyli, Hamilton y Kadic; con mucho aprecio y cariño
- MIS ABUELOS:** Francisco Romero Solís (QEPD)
Maria Paula Bámaca
José María Bautista
Juana Ramírez (QEPD)
- MIS TIOS:** María Luisa, Olga Estela, Ovidio, Francisco Isaías, Ramiro Arturo, Juan Alberto, Miguel Arcángel, José Venancio, Florentín, Marcial Genaro y Julia.
- MIS CUÑADAS:** Karla Mayarí y Mildred Priscila.
- MIS SOBRINOS:** Luis Pedro, Julián, Diana, Sergio Fernando María Alejandra, Londy y José Juan.
- MIS PRIMOS:** Por la unión familiar que mantenemos y en especial a: Aleyda, Nancy, Melva, Nivia, Gladis, Elman, Alder y Amarildo.
- AMIGOS Y AMIGAS:** Con mucho respeto, y en especial a Edín López, Elder Berduo, Marvin Urizar, Domingo Mendoza, Luis Fernando Mendoza .

TESIS QUE DEDICO

A Mi país Guatemala.

Finca El Naranjo, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, rincón que me vio nacer .

Escuela Rural Mixta El Naranjo, San Rafael Pie de la Cuesta San Marcos.

Instituto Adolfo V. Hall de Occidente, San Marcos.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Agronomía

Todos los agricultores de Guatemala, que este trabajo sea de beneficio como una nueva alternativa de producción de hortalizas.

AGRADECIMIENTO

A: Ing. Agr. Msc. Edgar Franco Rivera, decano de la Facultad de Agronomía, por la asesoría y apoyo brindados en la ejecución del presente trabajo.

Ing. Agr. Msc. Domingo Amador Pérez catedrático de la facultad de Agronomía, por su valiosa colaboración, en la realización de la presente investigación.

Ing. Agr. Ottoniel Rivera Mazariegos, por su valiosa colaboración y amistad mostrada en la realización de este trabajo.

Ing. Químico Francisco Castañeda Del Cid, por la asesoría técnica en la realización del presente trabajo.

P. A. Juan José Romero Pezarrossi, por la gran amistad mostrada durante el tiempo de ejecución del presente trabajo de investigación.

Sr. Heliodoro Zavala Cortéz por su amistad y apoyo.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la investigación.

Sra. Lidia Tobar, por su apoyo brindado

Junta Directiva de la Asociación de Estudiantes de Agronomía

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

**Programa de Promoción de la Mujer Rural de la Secretaria
de Obras Sociales de la Esposa del Presidente**

**Por su apoyo técnico y logístico en la realización y culminación de
este estudio científico.**

INDICE GENERAL

		Página
1.	Introducción.....	1
2.	Definición del problema.....	2
3.	Justificación.....	3
4	Marco teórico	4
4.1	Marco conceptual.....	4
4.1.1	Historia de la hidroponía	4
4.1.2	Definición de hidroponía	4
4.1.3	Ventajas de hidroponía	5
4.2	Componentes del sistema	8
4.2.1	Sustratos	8
4.2.2	La solución nutritiva.....	9
4.3	Factores importantes en el sistema hidropónico.....	10
4.3.1	Características que deben tener los buenos sustratos.....	10
4.3.2	Métodos de cultivo en hidroponía.....	11
4.3.2.1	Sustrato sólido.....	11
4.3.2.2	Cultivo en solución nutritiva.....	12
4.3.3	Nutrientes requeridos por las plantas.....	14
4.3.4	Control técnico de las soluciones nutritivas	16
4.3.5	Manejo de los cultivos hidropónicos.....	17
4.3.5.1	Métodos de siembra.....	17
4.3.5.2	Aireación.....	17
4.3.5.3	La luz.....	17
4.3.5.4	La adición de los elementos nutritivos.....	18
4.3.6	Producción de lechuga en cultivo hidropónico	19
4.3.6.1	Cultivo experimental.....	19
4.4	Marco referencial.....	21
4.4.1	Localización.....	21
4.4.2	Clima y zona de vida	21
4.3.6.2	Variedades más importantes.....	21
5.	Objetivos	24
6.	Hipótesis.....	25
7.	Metodología.....	26

7.1	Recipiente de cultivos.....	26
7.2	Preparación del sustrato.....	26
7.3	Preparación de las soluciones.....	26
7.4	Nutrición de las plantas.....	33
7.5	Preparación del semillero.....	33
7.6	Transplante a los sistemas de cultivos hidropónicos.....	34
7.7	Densidad de siembra utilizada para el sistema hidropónico.....	34
7.8	Frecuencia de aplicación de las soluciones.....	34
7.9	Riego.....	34
7.10	Control de plagas.....	34
7.12	Variables de respuesta.....	37
7.12.1	Peso fresco de la parte aérea.....	37
7.12.3	Apariencia física de la lechuga.....	37
7.12.4	Días a la cosecha.....	37
7.12.5	Análisis bromatológico del cultivo	37
7.12.6	Costos de los materiales para implementación y operación del sistema hidropónico.....	37
7.13	Arreglo y aleatorización de las unidades experimentales.....	38
7.14	Diseño experimental.....	38
7.14.1	Hipótesis del diseño experimental.....	38
7.14.2	Modelo estadístico.....	39
7.15	Análisis de la información.....	39
7.16	Presentación de los resultados.....	40
8.	Resultados y discusión.....	41
8.1	Rendimiento en peso fresco.....	41
8.1.1	Incremento en peso seco.....	42
8.1.2	Apariencia física de la lechuga.....	45
8.2	Análisis bromatológico de las variedades.....	45
8.6	Costos de producción del sistema hidropónico	48
9.	Conclusiones.....	50
10.	Recomendaciones.....	51
11.	Bibliografía.....	52
	Apéndice	54

INDICE DE CUADROS

		pagina
Cuadro 1.	Compuestos necesarios para preparar las soluciones hidropónicas....	27
Cuadro 2.	Preparación de diferentes volúmenes de soluciones concentradas	27
Cuadro 3.	Concentración para la preparación de la solución de macronutrientes..	28
Cuadro 4.	Cantidades necesarias para preparar 100 litros de solución de Macronutrientes.....	28
Cuadro 5.	Concentración de los compuestos para preparar la solución de micronutrientes.....	28
Cuadro 6.	Cantidades necesarias para preparar la solución concentrada de micronutrientes.....	29
Cuadro 7.	Cantidades de elementos necesarios para preparar los 40 litros de solución de micronutrientes finales.....	29
Cuadro 8.	Características de los elementos presentes en la solución hidropónica de micronutrientes.....	30
Cuadro 9.	Características de los elementos presentes en la solución hidropónica de macronutrientes.....	31
Cuadro 10.	Concentración de nutrientes utilizadas para los riegos diarios de macro y micronutrientes.....	32
Cuadro 11.	Extractos vegetales utilizados para el control de plagas en hidroponía.....	35
Cuadro 12.	Resumen de análisis de varianza para la variable rendimiento en peso fresco de lechuga (<i>Lactuca sativa L</i>) por unidad experimental de 0.774m ²	41
Cuadro 13.	Rendimiento en peso fresco de las variedades de lechuga (<i>Lactuca sativa L</i>) y comparación.....	42
cuadro 14.	Contenido nutricional de las variedades de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>) producidas por el sistema hidropónico	45
Cuadro 15.	Contenido nutricional de las variedades de lechuga evaluadas con el sistema hidropónico, tabla del INCAP y sus diferencias.....	47
Cuadro 16.	Costos de materiales para la implementación y operación del sistema Hidropónico de 28 m ²	49

Cuadro 17.	Peso fresco de lechuga en kilogramos por unidad experimental de 0.774 metros cuadrados.....	56
Cuadro 18.	Matriz de diferencia de las medias de rendimiento en peso fresco de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>).....	56
Cuadro 19	Resultados de la prueba de Tukey.....	56
Cuadro 20.	Peso seco total promedio de los muestreos realizados.....	57
Figura 1.	Gráfica de comparación del incremento en peso seco de las variedades de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>).....	44

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CULTIVO HIDROPÓNICO, UTILIZANDO COMO SUSTRATO ARENA Y CASCARILLA DE ARROZ.

YIELD EVALUATION OF FOUR VARIETIES OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN HIDROPONIC CULTURE, USING SAND AND RICE HUSKS AS SUBSTRATE

RESUMEN

El sistema de producción hidropónico es una técnica que combina el uso de sustratos inertes y de soluciones de macro y micronutrientes, las cuales se aplican diariamente para poder nutrir a las plantas. La técnica de producción hidropónica permite producir hortalizas de ciclo corto tanto en áreas rurales como urbanas en todo el país.

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el rendimiento en peso fresco de las variedades de lechuga Salinas, Boston Romana y Grand Rapids, utilizando el sistema hidropónico con sustrato sólido de una mezcla de arena y cascarilla de arroz.

La investigación se realizó en la terraza del edificio Isabel la Católica ubicado en la 9Av. 0-19 de la zona 2 de la ciudad capital, en el periodo comprendido entre los meses de febrero a agosto de 1999.

En la presente investigación se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y nueve repeticiones. El análisis de varianza se realizó al 0.05 de significancia y se tomaron datos de siete repeticiones. Las otras dos repeticiones fueron utilizadas para determinar el mayor incremento en peso seco de las cuatro variedades donde se tomaron muestreos a cada ocho días, haciendo el primero a los 25 días después de la siembra que fue cuando se hizo el transplante.

Después de realizar el análisis de varianza a la variable rendimiento en peso fresco, se determinó que el mayor rendimiento en peso fresco fue producido por la variedad de lechuga Salinas, que produjo un rendimiento medio de 5.43 Kg por unidad experimental de 0.774 m². Los rendimientos de las otras variedades fueron en su orden descendente: variedad Romana con 4.02 Kg, variedad Grand

Rapids 3.69 Kg y variedad Boston con 3.03 Kg. de producción en 0.774m².

Con el fin de conocer el comportamiento en el crecimiento de las cuatro variedades de lechugas evaluadas se determinaron las ecuaciones de incremento en peso seco de cada una, la variedad Grand Rapids presentó el mejor incremento en peso seco y la ecuación que representa el mismo es $Y=0.1102 X^{3.5225}$, para la variedad Romana la ecuación del crecimiento fue $Y=1.087 X^{3.4798}$, para la variedad Salinas la ecuación fue $Y=0.1929 X^{3.2419}$ y para la variedad Boston la ecuación fue $Y=0.1478 X^{3.2716}$.

Se determinó la apariencia física por medio de un análisis colorimétrico, utilizando un tintometro Lovibond (8). Se determinó que no existe diferencia significativa entre la apariencia física de las variedades de lechuga evaluadas.

Se determinó el contenido nutricional de las variedades de lechuga, el análisis se realizó en el Laboratorio Nacional de Salud y se determinó que la variedad Grand Rapids fue la que produjo el mejor contenido nutricional de calcio, fósforo, sodio, y potasio, produciendo 75.6 Mg./100g, 52 Mg./100g y 20 Mg. /100g respectivamente. Con respecto al contenido de hierro y magnesio la variedad Romana fue la que produjo el mayor contenido, produciendo 1.9 mg/100g y 55.0mg/100g respectivamente. También se realizó una comparación entre el contenido nutricional producido por el sistema hidropónico y la forma convencional expresado en la tabla de composición de alimentos de l INCAP, notándose un marcado incremento en calcio, fósforo y hierro en las lechugas producidas en cultivo hidropónico.

Con el fin de poder tener un conocimiento de los costos de producción que implica utilizar este sistema de producción se determinó el costo total para la implementación y operación de la huerta hidropónica de esta investigación, la cual tuvo un valor de Q 1598.50 quetzales, lo que dio un costo de Q 44.39 quetzales por unidad experimental de 0.774 m². El costo también fue referido a un metro cuadrado, el cual se ubico en Q 57.35 quetzales. La rentabilidad al utilizar este sistema de producción fue de 50%.

1. INTRODUCCIÓN

La hidroponía o cultivo sin tierra, es una técnica desarrollada que se basa en sistemas balanceados de control en donde las plantas se desarrollan porque reciben una nutrición adecuada y condiciones para su crecimiento y desarrollo (4). Existen varios métodos de cultivos hidropónicos como sistema NFT, sustrato sólido, raíces sumergidas en solución, mangas verticales y mangas horizontales, pero todos se basan en los mismos principios: la utilización de agua y fertilizantes químicos para nutrir las plantas (9).

Para asegurar un buen crecimiento, todas las plantas requieren agua, luz, aire, sales minerales y un sustrato inerte para sostener las raíces. Para su desarrollo las plantas necesitan absorber una parte de los elementos nutritivos de los gases atmosféricos (dióxido de carbono) y otra de las sales inorgánicas disueltas en el agua (15). Estas sustancias químicas son transformadas con la ayuda de la energía lumínica.

La hidroponía es una forma sencilla, limpia y económica de producir plantas de rápido crecimiento, de elevados rendimientos y por lo general, ricas en elementos nutritivos que no forman parte de los productos que conforman la dieta diaria de las personas de escasos recursos económicos (4). Esta técnica utiliza espacios reducidos no apropiados para la agricultura convencional. La técnica de producción hidropónica permite producir hortalizas de ciclo corto, tanto en áreas rurales como urbanas en todo el país. En este tipo de cultivos las plantas se sostienen sobre materiales inertes de desechos y de bajo costo por cosecha (9).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento del cultivo de lechuga, en donde además de utilizar el sistema hidropónico de sustrato sólido se probó la mezcla de 50% en volumen de arena blanca y cascarilla de arroz para aumentar sus ventajas y disminuir sus desventajas individuales; utilizando una sola fórmula nutricional. Además se procedió a hacer un análisis químico para conocer la composición química de minerales que es lo que más aportan las hortalizas. La fórmula nutricional que se utilizó estuvo compuesta de dos soluciones madres de macro y micro elementos, en una relación de 5:2, respectivamente.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala, tanto en el área rural como urbano marginal, la producción de hortalizas tanto para autoconsumo como para su comercialización se observa cada vez más con deficiencias, ya que la forma tradicional de producción requiere suelos con clase agrológica adecuada para hortalizas, además, el producir hortalizas con el sistema convencional, hace que el valor agregado sea muy alto aunque se cultive de una forma intensiva. Al cultivar hortalizas de forma intensiva en suelos que no son adecuados para cultivos limpios se contribuye a la degradación de suelos que bien podrían ser utilizados en la explotación del recurso bosque. La hidroponía permite producir cultivos hortícolas de ciclo corto tanto en áreas rurales como urbanas en todo el país.

Generalmente el pequeño productor maneja cultivos de subsistencia y sobre todo cultivos de ciclo corto como las hortalizas. Actualmente el productor de hortalizas no posee una tecnología adecuada que le permita cultivar hortalizas en espacios pequeños o área que no se utilice para ninguna actividad agrícola. El modelo económico exige producir con calidad y a bajo costo para poder ser competitivos y así poder vender hortalizas que mejoren el ingreso del pequeño productor.

3. JUSTIFICACIÓN

El recurso suelo aparte de contribuir con los elementos nutritivos; como sustrato y como sistema de anclaje, constituye una de las principales fuentes de contaminación de hongos, haciendo que los rendimientos tengan mayores factores para su reducción.

Las hortalizas pueden cultivarse en forma intensiva en espacios reducidos tanto, en área urbanas como rurales de todo el país, utilizando tecnología que combina sustratos inertes y soluciones nutritivas (7).

En otros países de Latino América, los cultivos hidropónicos han demostrado ser una opción para proveerse de alimentos derivados de hortalizas. Además las hortalizas en sistema hidropónico pueden ser cultivadas por hombres y mujeres, debido a que no necesita un gran esfuerzo o un espacio relativamente grande, principalmente (12). Dichos cultivos además de producir alimentos, que mejoran y completan la calidad de la alimentación, pueden generar ingresos con la calidad y cantidad de producción que puede hacerlos más competitivos en el mercado.

La hidroponía se propone como una tecnología de producción más eficiente para los sectores productivos marginales para que puedan producir con calidad y cantidad.

La eficiencia en el sistema hidropónico se encuentra en que no se cuenta con la principal fuente de riesgo de enfermedades que es el suelo (12).

La hidroponía con cultivo hortícola como la lechuga es un agente de cambio de actitud ya que al utilizar esta técnica los agricultores se convierten en protagonista de su propio desarrollo, promoviéndose así la formación de microempresas hidropónicas que den como resultado una verdadera autogestión comunitaria. (3).

La hidroponía aplicada en el cultivo de la lechuga nos ayuda a producir alimentos sanos y frescos, por que se utiliza materiales de fuentes conocidas, pero fundamentalmente por que no se usan plaguicidas químicos tóxicos, sino que se utilizan técnicas orgánicas de prevención y control de plagas por lo que los productos que se obtienen se encuentran libres de residuos químicos dañinos para la salud de quienes los consumen y para el medio ambiente (9).

En el presente estudio se evaluó el rendimiento de lechuga utilizando un sistema hidropónico en donde se utilizó sustratos y materiales baratos, disponibles en la región, tal como la arena blanca y la cascarilla de arroz; así como contenedores de madera de pino. El material experimental fue el cultivo de lechuga, pero, de cierta manera puede servir de modelo para ser extrapolado a otras especies hortícolas de ciclo corto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL.

4.1.1 HISTORIA DE LA HIDROPONÍA

El conocimiento que hasta ahora se tiene de hidroponía es el resultado del trabajo de muchos investigadores, por lo que es necesario aunque sea superficialmente dar una visión histórica a su desarrollo.

Jan Van Helmont. (1600), creyó haber probado que las plantas obtenían su nutrimento del agua. Woodward. (1699), constato en su libro "Some Thoughts and Experiments Conserning Vegetation" que la adición de pequeñas cantidades de suelo a diferentes tipos de agua mejoraba el crecimiento de las plantas.

De Sausure (1804) y Boussingault (1851-1856), mostraron que las plantas contienen bióxido de carbono, oxígeno, hidrogeno y nitrógeno, cultivando en agua, en arena y en carbón. Sacks (1960) y Knops (1861-1865) son los que fijaron las bases para el surgimiento de la hidroponía. Descubren que además de bióxido de carbono, oxígeno e hidrógeno las plantas requieren de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio magnesio y hierro. Publicaron las primeras fórmulas nutritivas a partir de las cuales se han desarrollado muchas más.

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

Gericke (1929) fue el primero en desarrollar exitosamente un sistema práctico de cultivo hidropónico; es con este trabajo que surge el término de hidroponía. Gericke y J.R. Travernett (1936) publicaron un trabajo en el que desarrollaron un sistema en donde reportan que en 9.2 metros cuadrados de área cultivada obtuvieron una tonelada de tomates de buena calidad al alcanzar las plantas una altura de 7.5 metros en menos de un año.

Withyow y Biebel (1936) perfeccionaron un mecanismo automático de riego por subirrigación. Recientemente la mayoría de los investigadores trabajan principalmente en dos aspectos: primero buscar sistemas hidropónicos más baratos y fáciles de manejar por la gente no preparada en fisiología vegetal, química y sistemas hidropónicos complejos, y segundo realizar estudios que abarquen diversos aspectos de nutrición vegetal (7). En la actualidad se considera a la hidroponía como una rama establecida de la Agronomía que está en expansión (9).

4.1.2 DEFINICIÓN DE HIDROPONÍA.

El termino Hidroponía deriva de los vocablos griegos "Hidro" que significa agua, y "ponos" equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como trabajo del agua o actividad del agua (15).

La hidroponía se define como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y que en vez de suelo, se utiliza como

sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución. (3).

Existen términos que son utilizados como sinónimos de la hidroponía; cultivos sin suelo, nutricultura, quimiocultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, entre otros. En la actualidad el termino se usa en varios países como hidroponía (4).

4.1.3 VENTAJAS DE LA HIDROPONÍA

La hidroponía presenta gran numero de ventajas tanto en lo técnico como en lo económico, con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; presenta las siguientes ventajas: (15).

a). Promueve el balance de aire, agua y nutrientes:

Con algunas excepciones al utilizar un sistema de cultivo en suelos, es sumamente difícil abastecer a las raíces simultáneamente con las cantidades de agua, aire y nutrientes que requieren (15). Cuando el suelo se satura el agua se encuentra disponible para las raíces en grandes cantidades pero el oxígeno del suelo tiende a ser limitante; A medida que el suelo va perdiendo agua, la cantidad de oxígeno disponible va en aumento. Después de pasar un intervalo en el que las proporciones de agua y oxígeno son adecuadas, el agua tenderá a ser un factor limitante para el desarrollo de las plantas.

En hidroponía es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango requerido por los cultivos.

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

b). Permite una humedad uniforme:

Bajo un sistema hidropónico la humedad del sustrato puede ser siempre uniforme y controlada. En el suelo, la falta de humedad o su exceso, constituyen causas frecuentes de pérdidas en el rendimiento o en calidad.

c). Permite un excelente drenaje:

Esta característica, sumada a que los materiales usados como sustrato generalmente no se desintegran o parten fácilmente, da como resultado una buena aireación para las raíces.

d). Permite una mayor densidad de población:

Ya que los nutrimentos no son limitantes las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse más cerca (entre un 10% y 30%) que sus similares en el suelo; Aquí el factor que viene a limitar la densidad es la luz.

e). Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutriente:

En el suelo, corregir una deficiencia o efecto tóxico de un ion es cosa de meses o años mientras que el sistema hidropónico, es cosa de unos cuantos días. Esto se logra haciendo un análisis químico de plantas; y luego se corrige la concentración del ión en la solución que se encuentre deficiente o en exceso.

f). Permite control del pH:

Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrimentos y por lo tanto el rendimiento de las plantas es el pH. En un cultivo sobre el suelo el pH puede estar muy desviado del rango adecuado y su corrección en la mayoría de los casos, puede ser difícil y costosa. En hidroponía al trabajar con sustratos inertes es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH a nivel deseado; ya que este se corrige de forma directa en la solución.

g). No se depende tanto de los fenómenos meteorológicos:

Normalmente los cultivos en hidroponía se protegen contra los vientos fuertes, las granizadas, las altas y bajas temperaturas, sequías, etc. Esto permite una mayor expresión del potencial genético de las plantas y, desde luego, del rendimiento, por lo que incluso se puede predecir con más seguridad el monto de la cosecha para planear su venta con anticipación. Esto es cierto si se tiene un sistema hidropónico a nivel de invernadero.

h). Permite obtener altos rendimientos por unidad de superficie:

Esto resulta evidente si conjugamos las ventajas anteriores.

i). Permite obtener productos de calidad:

El eficiente control sobre nutrición, aireación, etc., permite que los productos del sistema hidropónico sean más uniformes en tamaño, peso, color, etc., y de más alta calidad en el comercio, que los productos del cultivo del suelo.

j). Se obtiene mayor precocidad en los cultivos:

En cultivos hidropónicos anuales se ha encontrado que, aún al aire libre estos maduran dependiendo de la especie, de 10 a 60 días antes que sus similares bajo condiciones de suelo.

k). Permite cultivar repetidamente la misma especie de planta:

La rotación de cultivos se desarrolla para mantener la fertilidad del suelo y controlar enfermedades que tienen su origen en el mismo. En hidroponía al mantenimiento constante de la fertilidad es la esencia del sistema y dado que los organismos causales de muchas enfermedades en las plantas necesitan materia orgánica presente en el sustrato, el sistema puede mantenerse relativamente libre de ellas; por otro lado, cabe recordar que los agregados usados en hidroponía son generalmente fáciles de esterilizar.

l). Se puede producir varias cosechas al año:

Esto implica desde luego un clima en el cual el cultivo pueda crecer durante todo el año o bien el uso de invernaderos. La ventaja estriba en la posibilidad de capturar mejores mercados o abastecer a uno durante todo el año.

m). Permite uniformidad en la producción de los cultivos:

En hidroponía la situación normal es que las plantas sembradas florecen y maduran a un mismo tiempo; esto tiene importancia desde luego en la programación de la cosecha y la venta del producto.

n). Permite utilización de espacios pequeños con rendimientos altos:

Se requiere menor cantidad de área para trabajar en hidroponía lo que representa una ventaja desde el punto de vista económico y ecológico.

o). Permite gran ahorro en el consumo de agua:

En hidroponía, generalmente se circula el agua y se riega por métodos de sub-irrigación en lechos impermeables. De esta manera casi todo el gasto de agua es debido a la transpiración. Se requiere mucho menos agua para lograr iguales rendimientos. Se considera que se gasta aproximadamente 20 veces menos agua con un sistema hidropónico.

p). Se reduce los costos de producción:

Debido a menores gastos de fertilizantes, insecticidas, fungicidas y a que no existan barbechos, o escardas, se ahorra tiempo y dinero. La eficiencia del sistema se logra mantener año con año a bajo costo; ya que se puede reutilizar varias veces el mismo sistema, ya sea en condiciones de invernadero o libre exposición.

q). Posibilidad de una automatización casi completa:

En hidroponía muchas de las labores como riego y luz artificial pueden automatizarse.

r). Proporciona excelentes condiciones para elaboración de semilleros:

En la germinación, las condiciones son adecuadas para que germine la semilla en un porcentaje alto, en el trasplante las plantas se colocan en sustratos casi similares y como revitalizador de plantas débiles creciendo en el suelo.

s). Se puede utilizar agua con alto contenido de sales:

Esto es posible por ajustarse la solución de acuerdo con las sales presentes en el agua y su reemplazo continuo.

t). Mayor limpieza e higiene:

Mediante el cultivo hidropónico se elimina el riesgo de contraer enfermedades infecciosas, que como la disentería tiene su origen en el consumo de vegetales cuyo suelo ha sido enriquecido con aguas negras o excrementos animales; lo cual le permite alcanzar precios más altos en el mercado.

u). Posibilidad de enriquecer los productos alimenticios con sustancias como vitaminas o minerales:

Los nutrientes están disueltos en una solución compuesta por elementos que han sido aplicados de una forma adecuada, a esta solución se le puede agregar componentes vitamínicos que de todas maneras no afecta la reacción de los demás elementos disueltos en solución. Esto puede representar una ventaja en la alimentación infantil o de hospitales.

v). Posibilidad de utilizar materiales nativos o de desecho:

Es una ventaja de tipo económico realizar la construcción con materiales de desechos y utilizar como sustrato materiales abundantes y baratos en cada localidad en la que se desee establecer el cultivo hidropónico.

w). Posibilidad de usar mano de obra no calificada:

Debido a lo intensivo del cultivo hidropónico y aunque hay labores que se puedan automatizar, para una misma superficie se requiere mas gente en el sistema hidropónico que en un sistema de cultivo en el suelo. Está posibilidad tiene gran importancia económica en países en los que la desocupación representa un problema grave.

x). Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y los riesgos de erosión:

Al no utilizar compuestos químicos para el control de plagas y enfermedades, se reduce grandemente la contaminación de fuentes de agua, además como el sustrato es inerte y se encuentra en camas de crecimiento este resulta imposible que se erosione. También se puede utilizar varias veces el mismo cultivo sin tener cuidado de que este se erosione por su uso intensivo.

y). Casi no hay gasto en maquinaria agrícola:

Ya que no se requiere de tractor, arado u otros implementos semejantes.

z). La recuperación de la inversión se realiza en corto tiempo.

Esto se da por que generalmente los cultivos más adaptados a este sistema de producción son de ciclo corto y al utilizar esta técnica se reduce aun más el ciclo de producción, logrando sacar varias cosechas al año; lo que depende sin embargo, del cultivo y del tipo de sistema empleado (9).

4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA.

4.2.1 SUSTRATOS

Son materiales sobre los cuales se desarrollan las raíces de las plantas y le sirven para su sostén, estos pueden ser sólidos o líquidos. (9)

Los sustratos donde se desarrollan las raíces se pueden utilizar solos, pero es mejor mezclarlos para aprovechar las ventajas y disminuir las ventajas que tienen individualmente ya que han sido probados en más de 30 especies de plantas (3).

4.2.2 LA SOLUCIÓN NUTRITIVA:

Es el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua (20).

Se ha probado que para el crecimiento y desarrollo de las plantas son necesarios los elementos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel. Bajo un sistema de cultivo hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de una solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera un prerrequisito la solubilidad de los iones esenciales en el agua. El nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio, el azufre y el magnesio, denominados como macronutrientes, se añaden al agua usando, casi siempre como fuente fertilizantes comerciales. Los otros elementos llamados 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 a la solución) solo se añaden cuando existe necesidad (12).

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular ya que la concentración óptica de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va a cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua, y el estado de desarrollo de la planta (15).

La cantidad de sales disueltas en la solución nutritiva, para lograr un crecimiento vegetal satisfactorio, necesita una presión osmótica del orden de 0.5 a 2.0 atmósferas. (3).

El pH de la solución deberá ajustarse de acuerdo a las necesidades de la especie, la mayoría de las plantas se desarrollan con un pH de 5.0 a 6.5. Para elaborar la solución nutritiva, debe tomarse muy en cuenta la cantidad y el tipo de iones que el agua tiene ya disueltos de acuerdo a su origen, que deben descartarse de los fertilizantes que se están usando como fuente estos elementos (10).

Las fuentes más comunes y baratas de los elementos esenciales son los fertilizantes comerciales. Por su elevado precio los reactivos analíticos no se recomiendan en hidroponía y se usan más para investigaciones de nutrición vegetal (4).

4.2.3 CONCENTRACIÓN DE LOS IONES PRESENTES EN LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS

Elemento Radical	Mínimo (ppm)	Optimo (ppm)	Máximo (ppm)
Nitrato (NO ₃) ⁻	200	300-900	1,000
Amonio (NH ₄) ⁺	--	0 - 40	100
Fósforo (PO ⁻²)	30	30 - 90	100
Potasio (K) ⁺	150	200-400	600
Calcio (Ca) ⁺²	100	150-400	600
Magnesio (Mg) ⁺²	25	25 - 75	150
Sulfato (SO ₄) ⁻²	150	200-1,000	1,000
Cloro (Cl) ⁻	30	-- - 350	600
Sodio (Na) ⁺	---	---	400
Hierro (Fe) ⁺²		0.5 - 2	
Acido Bórico (H ₃ BO ₃)		0.2 - 1	5
Zinc (Zn) ⁺²		0.2 - 2	20
Cobre (Cu) ⁺²		0.1 - 2	5
Manganeso (Mn) ⁺²		1 - 5	15
Cobalto (Co) ⁺²			
Flúor (F) ⁻			
Molibdeno (Mo) ⁺¹			

REFERENCIA: Los guiones indican que el elemento no está presente, el espacio en blanco es falta de información y ppm es partes por millón.

4.3 FACTORES IMPORTANTES EN EL SISTEMA HIDROPÓNICO

4.3.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN TENER LOS BUENOS SUSTRATOS

- Que las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior de 0.2mm y no superior a 7mm.
- Que retengan una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua por riego o caída de la lluvia.
- Que no retengan mucha 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.

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

- Cascarilla de arroz.

Es necesario lavarla y dejarla bien humedecida antes de sembrar o transplantar.

- Aserrín de maderas no latifoliadas ni de 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.

- Hormigón o arenas volcánicas lavadas,
- Arenas de río.

Estos materiales se pueden utilizar solos, pero también algunas mezclas de ellos en diferentes proporciones han sido probadas en cultivos hortícola de más de 30 especies (9).

Las mezclas más recomendadas de acuerdo a varios ensayos hechos en varios lugares son: (9)

50% de cascarilla de arroz	y	50% de escoria volcánica
80% de cascarilla de arroz	y	20% de aserrín
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	y	40% de Escoria Volcánica 10% de Aserrín

4.3.2 MÉTODOS DE CULTIVO EN HIDROPONÍA

4.3.2.1 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 cuidado que el de raíz en agua y permite sembrar mayor variedad de hortalizas (7).

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

Cultivo en Agregado: comprende a todos aquellos métodos que utilizan como sustrato la arena o agregados que posean propiedades semejantes; 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 un sustrato, generalmente no absorbente, y cuyas partículas quedan comprendidas entre los 2 mm y los 2 cm de diámetro (20).

4.3.2.2 EL CULTIVO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA

Es un sistema que involucra el crecimiento de flores y vegetales sumergiendo sus raíces en una solución acuosa de nutrientes. Se basa en el principio básico de que las raíces de las plantas se desarrollan parcial o totalmente en un medio líquido que contiene todos los elementos nutritivos necesarios.

Los principales problemas técnicos del cultivo en solución se deben a características nutricionales, ya que se puede usar con éxito gran número de soluciones nutritivas. Se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento y por lo tanto se requiere de un control, muy exacto de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a niveles de pH, fosfatos y hierro (15).

Las plantas son mucho más susceptibles a las condiciones adversas de pH de la solución nutritiva bajo cultivo en agua que en cultivo en grava o arena. El cultivo en solución ha demostrado ser particularmente exitoso en lugares de clima cálido-seco con muchos días soleados. Se recomienda este sistema en investigaciones fisiológicas y agronómicas, en la educación secundaria y superior, en instalaciones caseras para plantas ornamentales de interior; a nivel comercial bajo clima cálido-seco y con pocos días nublados o en lugares no adecuados para la agricultura, donde no exista un sustrato adecuado para otro tipo de sistema hidropónico o bien su costo o traslado sea muy elevado. Este sistema no es recomendable para aquellos que se inician en la hidroponía. Además su costo de inversión es alto y se necesita disponibilidad del recurso agua (15).

El sistema de raíz flotante solo se recomienda para albahaca, apio, endibia, en diferentes variedades (13).

Cultivo en grava: comprende además de los tipos de grava comunes a otros sustratos semejantes (de más de 2mm de diámetro) como ladrillo quebrado, carbón tezontle y otros tipos de lava volcánica (13).

Dentro de muchos materiales que se consideran como grava y que se utilizan con frecuencia en la hidroponía, destacan: basalto, granito, tezontle, piedra pómez, pedazos de ladrillos, carbón, poliestireno, poliuretano, cascarilla de arroz, etc. (9).

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

El cultivo en grava requiere el uso de tinas impermeables. Como sustrato para las raíces se coloca dentro de las tinas un medio, generalmente no absorbente, con partículas relativamente grandes, para asegurar una excelente aireación, (más de dos milímetros de diámetro) pero no tan grandes que no tengan la suficiente humedad para las raíces tan pronto como la solución es forzada dentro de las tinas y circula de abajo hacia arriba, el bióxido de carbono producto de la respiración radical, es expulsado de la grava; al drenar la solución rápidamente, el sustrato succiona aire nuevo, que es aprovechado por las raíces de las plantas en cultivos. Las partículas de gravas retienen sobre sus superficies humedad suficiente para permitir

un crecimiento satisfactorio (12).

La solución puede reutilizarse por un tiempo indefinido o bien renovarse periódicamente (10).

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

El cultivo en grava ha demostrado varias ventajas en instalaciones comerciales y es el más comúnmente utilizado (15).

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

Características nutricionales: En general el control nutricional es semejante al que se realiza bajo cultivo en solución y es más exacto que bajo cultivo en agregados. Es necesario tener en cuenta la acidez de la solución, nivel de fosfatos, y nivel de hierro.

Para obtener buenos resultados debe mantenerse la acidez de la solución dentro del rango que va de media a ligeramente ácida. Las fluctuaciones de acidez no son tan marcadas como bajo cultivo en solución, pero sí bastante más que en cultivo en agregado (15).

El nivel de fosfatos en la solución nutritiva debe regularse adecuadamente, se recomienda por lo tanto no sobrepasar los seis milimoles de concentración de fosfatos. El manejo adecuado del nivel de fosfatos favorece la regulación de la acidez de la solución debido a su acción estabilizadora. Una concentración entre dos y cuatro milimoles favorece esa acción.

Uno de los principales problemas del cultivo en grava es de mantener un nivel adecuado de hierro en la solución nutritiva (3).

La solución nutritiva se formula con base a lo que necesitan las plantas y no a lo que son capaces de absorber. El desbalance en la concentración de los elementos esenciales, en las relaciones de unos con otros y en la presencia de iones extraños, afecta significativamente el desarrollo normal de las plantas cultivadas en sistema hidropónico.

Una alta concentración de iones en la solución conduce a un incremento de la presión osmótica que retarda o anula el crecimiento vegetal; aun la alta concentración de un solo ion sin llegar a niveles de toxicidad eleva significativamente la presión osmótica total. Las altas concentraciones de uno o más elementos nutritivos pueden ocasionar problemas de toxicidad a las plantas. Una solución muy diluida o la baja concentración de un elemento pueden provocar deficiencias nutricionales en las plantas.

El nitrógeno para las plantas se suministra como nitrato (NO_3^-) o bien como amonio (NH_4^+). Una concentración elevada de amonio en la solución en relación a nitrato conduce generalmente a un crecimiento vegetal muy suculento, producto de una absorción muy rápida de amonio en relación a la producción de carbohidratos. Dependiendo principalmente de la edad y tipo de planta, de la duración e intensidad de la luz,

del tipo de sustrato y de la reacción de la solución en relación al pH, es que se debe balancear la proporción de amonio con respecto a nitrato. En términos generales y para fines prácticos, se recomienda que cuando menos el 75% del nitrógeno total sea proporcionado en forma de nitrato.

Otra relación de importancia en hidroponía es la del nitrógeno con el potasio.

De algunos estudios realizados se ha establecido que las proporciones de nitrógeno y potasio deben ajustarse de acuerdo con la época del año y el tipo de plantas que se cultive.

Una concentración de 200 ppm, tanto de potasio como de nitrógeno en la solución nutritiva, se considera adecuada para la mayoría de las plantas; sin embargo en un clima de verano, varias especies de plantas se desarrollan mejor si se incrementa la concentración de nitrógeno de 250 a 300 ppm y se reduce la concentración de potasio de 150 a 100 ppm. Por el contrario, en invierno, con poca luz y relativamente baja temperatura o bien cuando se presentan muchos días nublados consecutivos, el nitrógeno debe reducirse de 100 a 150 ppm mientras el potasio se eleva proporcionalmente a 250 o 300 ppm.

Otra situación que se da cuando las soluciones se hacen muy concentradas (soluciones madres), es que el calcio reacciona con los sulfatos formando sulfato de calcio insoluble, lo que a la hora de hacer la dilución final ocasionan pérdidas que pueden dar lugar a una deficiencia. Las soluciones concentradas ahorran una cantidad de tiempo y trabajo, sobre todo a escala comercial, pero se debe tener cuidado de no mezclar sales que contengan sulfatos con sales que contengan calcio. Es conveniente entonces preparar dos soluciones concentradas por separado, y una vez diluida una de ellas, agregar la proporción correspondiente de la otra.

4.3.3 NUTRIENTES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS

4.3.3.1 NITRÓGENO:

Es absorbido por las plantas casi exclusivamente 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 conseguirlos en pequeñas cantidades, proporciona nitrógeno en forma de nitratos y potasio requerido. 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. Nitrato de sodio; es buena fuente de nitrógeno pero el sodio que entra en la solución solo va a incrementar el contenido de sales sin contribuir a la alimentación vegetal. 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. 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.

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 urca es utilizada principalmente en la producción intensiva de forrajes en hidroponía (9).

4.3.3.2 FÓSFORO:

Asimilable por las plantas como ión fosfato (PO_4)⁻. Sus principales fuentes son superfosfato de calcio simple es la mas usada de fósforo, es barato y fácil de conseguir, contiene calcio, azufre y varios microelementos como impurezas; es difícil de disolver. Superfosfato de calcio triple contiene más fósforo que el superfosfato simple, pero, menos impurezas, su precio es más elevado y difícil de disolver. Fosfato de amonio y fosfato diamónico son más fácil de disolver que el fosfato de calcio simple y el superfosfato de calcio triple, proporcionan nitrógeno amoniacal. Acido fosfórico normalmente es una fuente suplementaria de fósforo, utilizada para regular el pH, en vez del ácido sulfúrico, se utiliza como solución débil (15).

4.3.3.3 POTASIO:

Sus principales fuentes son nitrato de potasio, sulfato de potasio barato, 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 (15).

4.3.3.4 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 proporciona una buena cantidad de calcio pero, es difícil de diluir. Sulfato de calcio (yeso) es difícil de diluir, es barato y fácil de conseguir. Cloruro de calcio se recomienda solo como fuente suplementaria, por que eleva el contenido de cloro en la solución (15).

4.3.3.5 AZUFRE:

Utilizado por las plantas en forma de sulfatos (SO_4)⁻. Las plantas presentan limites 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 limites adecuados. Sus principales fuentes son Sulfato de amonio, Sulfato de potasio, Superfosfato, Sulfato de magnesio; además de azufre proporciona el magnesio necesario, Sulfato de calcio (15).

4.3.3.6 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, Nitrato de magnesio es más caro y difícil de conseguir en el mercado que el sulfato de magnesio (15).

4.3.3.7 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. Cloruro férrico, mas caro que el sulfato ferroso y difícil de

conseguir. Quelatos, proporcionan hierro asimilable por periodos de tiempo más largos que el sulfato ferroso y previenen la precipitación de fósforo, su precio es elevado. (3).

4.3.3.8 MANGANESO:

En la solución nutritiva, es proporcionado como sulfato, cloruro o quelatos de manganeso. (3).

4.3.3.9 BORO:

Se asimila como borato, $(BO_3)^-$ y sus principales fuentes son el ácido bórico, y el bórax (tetraborato de sodio) (3).

4.3.3.10 COBRE:

Sus principales fuentes son el sulfato y cloruro de cobre.

4.3.3.11 ZINC:

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

4.3.3.12 MOLIBDENO:

Es requerido en pequeñas cantidades, se encuentra como impurezas en otros fertilizantes y por lo tanto no requiere de ninguna fuente adicional (9).

4.3.4 CONTROL TÉCNICO DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS:

Dentro de los factores que se deben tomar en cuenta para asegurar resultados satisfactorios respecto a la nutrición de las plantas por los elementos esenciales están:

4.3.4.1 CALIDAD DEL AGUA:

El agua puede obtenerse de varias fuentes; lluvias, ríos, corrientes subterráneas, lagos, pozos, agua de mar destilada, etc. Además de agua de lluvia o del agua destilada, todas las fuentes naturales contienen cantidades variables de sales en solución, las cuales deben ser sometidos a análisis químico si se pretenden usar en hidroponía, para evitar problemas nutricionales. Si los sólidos totales presentes en el agua sobrepasan los 3000 ppm se debe hacer un análisis químico del agua que se piensa utilizar, que contemple cuando menos: sólidos totales y cloruros, si los sólidos totales exceden las 500 ppm. Dureza; si es alta, debe analizarse para calcio y magnesio, metales pesados, sulfuro y cloro libre solo cuando se sospeche (19).

4.3.4.2 pH DE LA SOLUCIÓN

Conocer el pH que rodea a las raíces es de extrema importancia para el adecuado crecimiento. La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5.0 a 6.5. Para medir el pH de agua o de la solución nutritiva se utiliza: papel indicador, el cual es el más sencillo, más barato y más usado en Hidroponía. También se puede utilizar el método de determinación electromagnética, la cual utiliza aparatos especiales con electrodos. El rango de pH recomendado para el cultivo de la lechuga es de 5.5 a 6.5 (14).

4.3.5 MANEJO DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS

4.3.5.1 MÉTODOS DE SIEMBRA

4.3.5.1.1 SIEMBRA POR TRANSPLANTE:

El sustrato utilizado para ser semilleros en hidroponía debe ser muy suave, limpio y homogéneo. Se debe nivelar muy bien para que al trazar los surcos y depositar las semillas, unas no queden más profundas que otras, ya que esto afectaría la uniformidad del nacimiento y el desarrollo inicial.

No se debe hacer almácigos en tierra para luego trasplantarlos a sustratos hidropónicos. Las plantas que se van a trasplantarlas en hidroponía deben nacer en sustrato preparados para hidroponía (10).

4.3.5.1.2 SIEMBRA DIRECTA.

La siembra directa se hace en especies que no resisten el transplante o porque desde el comienzo se desarrollan con mucho vigor y no requieren cuidados especiales que garanticen sus primeros días de vida, como si sucede con las especies que tienen semillas muy pequeñas y que por lo tanto dan lugar a plantas muy pequeñas en los primeros días de desarrollo (10).

4.3.5.2 AIREACIÓN.

En el sistema de sustrato sólido al aplicar diariamente los riegos 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 estas costras 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 (6). La aireación para el sistema de raíz flotante se logra al agitar la solución al menos dos veces por día para oxigenar la solución y dispersar las sales nutritivas; cuando no se agitan se forma algas que dan mal aspecto y alteran el desarrollo. Con los dos sistemas de cultivos es importante tener constante cuidado con la presencia de plagas que puedan afectar la cantidad y calidad de las cosechas. También debemos cuidar los cultivos de los excesos de sol o de las altas temperaturas o de las lluvias muy fuertes (4).

La ventilación de los cultivos hidropónicos es muy importante, especialmente los instalados en lugares cerrados, donde debe haber una buena circulación de aire fresco. Sin embargo las corrientes de aire, el humo, los gases y el polvo son muy perjudiciales. Si el ambiente es muy seco debe humedecerse colocando recipientes con agua o rociando las hojas. El exceso de humedad provoca el desarrollo de enfermedades. Los vientos moderados suelen favorecer la circulación de la savia, facilitan la fecundación transportando el polen y renuevan el aire en el medio ambiente de la planta (4).

4.3.5.3 LA 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 por lo que es aconsejable colocarlos en lugares claros. En lugares abiertos debe procurarse que no de el sol a pleno durante

todas las horas del día, no debemos olvidarnos que existen especies que se desarrollan mejor a la sombra (4).

4.3.5.4 LA ADICIÓN DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS

Debe ser un procedimiento de control y balance, cada elemento es vital en la nutrición de la planta la falta de uno solo limitará el desarrollo por que la acción de cada uno es específica y ningún elemento puede ser reemplazado por otro. No existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno experimente con óptimos resultados (4).

4.3.5.5 LAS MEDIDAS DE LOS RECIPIENTES

El tamaño de los recipientes es variable y depende de las necesidades particulares de cada uno, pero el largo máximo debe ser de 6 metros y un ancho máximo de 90 cm. Los recipientes deben tener perforaciones en su base para tener un buen drenaje y aireación. Los orificios deben estar abiertos en el momento de drenaje pero que puedan ser obturados por medio de tapones. Para asegurar un buen drenaje es necesario que los recipientes tengan una pendiente de 3% a 5% que dependerá del sustrato utilizado. El recipiente debe ser inerte para evitar reacciones o cambios en la solución nutritiva (10).

4.3.5.6 RIEGO

En hidroponía es imprescindible el uso de un sistema de riego para suplir las necesidades de agua de las plantas y suministrarles los nutrientes necesarios. Los sistemas de riego que pueden utilizarse van desde uno manual con regadera hasta el más sofisticado con controladores automáticos de dosificación de nutrientes, pH y programador de riego.

4.3.5.7 SIEMBRA:

Una buena siembra ayuda considerablemente a las plantas a desarrollarse bien tanto al comienzo como durante la floración y fructificación. Para esto debemos asegurarnos que las semillas sean frescas y con un alto poder germinativo (3).

Un semillero se compone de una serie de elementos destinados a brindarle a la semilla todas las condiciones necesarias para su germinación. Los métodos más adecuados para realizar semilleros son: el de los cubos de espuma plástica, los almácigos o la siembra directa en los recipientes hidropónicos (4).

4.3.5.8 PLAGAS

El desarrollo y producción de las plantas puede ser alterado por enemigos externos que buscan aprovecharse de las buenas condiciones de desarrollo en cualquiera de sus estados, desde el semillero hasta el estado adulto, afectando cantidad y calidad del producto. En hidroponía las plagas se controlan empleando métodos no tradicionales que apartan el uso de productos químicos ya que en las condiciones en que se desarrollan los cultivos, podrían ser dañinos para las personas que los aplican o para quienes los consumen; además que podrían causar reacciones no deseables con respecto a la solución nutritiva. Es necesario realizar una revisión diaria de la huerta o parte de ella si está es muy grande en las primeras horas de la mañana y en las últimas de

la tarde, ya que cuando la temperatura es muy alta los insectos no son fácilmente localizables. Las plagas que más se presentan en los cultivos hidropónicos son los lepidópteros en sus estados inmaduros y pulgones o áfidos que se presentan en periodos secos y calurosos. También llegan a ser importantes los daños causados por las babosas o caracoles los cuales se presentan en abundancia en época lluviosa; es una plaga nocturna y por lo tanto se debe buscar en lugares oscuros por la mañana (9).

Es posible aplicar métodos de control de plagas que no contaminen el ambiente ni los productos cosechados; dentro de estos los más accesibles y de buena respuesta tenemos: colocar banderas de plástico de color amarillo impregnadas de aceite; lavaza o enjuagadura de jabón corriente, aplicada con un atomizador en forma de rocío para controlar pulgones y larvas pequeñas; trampas de luz encima o dentro de un recipiente con agua o aceite quemado durante una o dos horas cada noche; Cebos o trampas atrayentes para el control de babosas y caracoles; espanta pájaros de diferentes tipos (15).

Como un complemento a estas prácticas se puede aplicar en rotación y con intervalos extractos o sumos de ajo, ají, eucalipto, nim, orégano, ortiga o pringamusa, paico o apazote, ruda, tabaco y otros más (9).

4.3.6 PRODUCCIÓN DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO.

La lechuga ha sido cultivada en sistemas hidropónicos de los cuales los rendimientos obtenidos se han duplicado si lo comparamos con el cultivo en tierra (3).

Los rendimientos en cultivo hidropónico van desde 2.32 a 6.5 Kg por metro cuadrado; y en tierra es de 2 y 3.25 Kg por metro cuadrado, aunado a esto se tiene que la densidad de siembra se puede aumentar hasta en un 10 o 30% del cultivo en tierra (3).

4.3.6.1 LA LECHUGA CULTIVO EXPERIMENTAL

La lechuga es una planta que pertenece a la familia de las compuestas y resulta ser la de mayor importancia entre las hortalizas que se consumen como hoja en ensaladas. Todo esto añadido a la gran fuente de minerales que posee la lechuga, el cual la hace ser una planta muy importante dentro de la nutrición humana (3).

Es una planta anual con periodo vegetativo de 50 a 90 días. Está constituida por una roseta de hojas grandes y sueltas, cuyo color varía entre crema, verde amarillento, verde oscuro y verde.

Existen cuatro tipos principales de lechuga: el repollado en el que los nervios centrales de la hoja se curvan hacia adentro, y forman cabezas; el rizado, de hojas más blandas que las de las plantas de tipo anterior; el de oreja de mula, que no forma cabezas compactas; y el de coz o romano, que es de hojas largas estrechas y dobladas, en manojo semiabierto.

La lechuga es típica de climas frescos (templados) se desarrolla también en climas cálidos por lo que puede cultivarse en altitudes que van de 300 a 670 metros sobre el nivel del mar con temperaturas entre 14 y 24 °C, aunque su desarrollo es mejor entre 2100 y 1350 metros sobre el nivel del mar. No resiste las heladas.

Las temperaturas mayores de 24 0C aceleran el desarrollo del tallo floral y deterioran rápidamente la calidad pues con el calor se acumula en la planta un látex amargo que es desagradable al gusto. Requiere buena humedad en le suelo, pero no le favorece el exceso de lluvia o riego.

4.4 MARCO REFERENCIAL

Las características generales del área de ubicación del experimento se describen a continuación:

4.4.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL

La ubicación del área experimental fue en la terraza del edificio Isabel La Católica en la 9ª. Av. 0-19 de la Zona 2 de la Ciudad Capital. Se localiza geográficamente en las coordenadas: 14° 35' 11" latitud Norte y 90° 35' 58" longitud Oeste y a una altitud media de 1502 msnm (11).

4.1.2 CLIMA Y ZONA DE VIDA

Según el mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento de la República de Guatemala, a una escala de 1:600,000; publicado por el Instituto Nacional Forestal, la ciudad de Guatemala se encuentra dentro de la zona de vida: Bosque Húmedo Subtropical Templado (Bh-st) (10)

Las condiciones climáticas prevalecientes son:

Precipitación media anual: 1,216.2mm distribuidos en 110 días en los meses de Mayo a Octubre.

Temperatura media anual: 18.30C

Humedad relativa (media): 79%

Insolación promedio: 6.65 horas/día

Radiación: 0.33 cal/cm²/min.

4.3.6.2 VARIEDADES DE LECHUGA MÁS IMPORTANTES

SALINAS

Variedad repollada que se cultiva mucho en Guatemala, resulta excelente para el transporte, sus cabezas son de tamaño medio a grande y mas o menos compactas, firme, con suave textura. Resistente al mildiu veloso y a la quemadura de puntas. Se cosecha a los 70 días después del transplante.

Presenta un color verde oscuro con excelente uniformidad y corazón corto.

Esta variedad es adecuada para cultivarse en suelos con mucha materia orgánica, presentando un mejor crecimiento y desarrollo en climas menos fríos a templados. Presenta un muy buen sabor y producción muy consistente.

Es una variedad de lechuga que presenta gran aceptabilidad para mercados a granel y para exportaciones, generalmente utilizada para ensaladas y cosméticos.

VARIEDAD BOSTON

Es una variedad de lechuga muy popular, conocida también como cabeza de mantequilla debido a que la apariencia de su color es un poco pálido y cuando existe suficiente luz solar se observan brillos que semejan manchas irregulares parecidos al color normal de la mantequilla.

Esta variedad es de hoja, cabeza abierta y de hojas ligeramente onduladas y presenta gran

aceptabilidad para el consumo en ensaladas. Es muy susceptible a la humedad, por lo que cuando se cultive en suelos que presenten poco drenaje se recomienda que el aporque sea mínimo ya que puede presentar pudrición en la base del tallo y hojas bajas. Presenta buena tolerancia a la punta quemada. La cabeza que forma es pequeña, un poco firme, redonda, de color verde claro. Resiste a la quemadura de las plantas, puede sembrarse todo el año y se cosecha a los 60 días después del transplante.

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

Al inicio de su ciclo presenta mas hojas que las variedades Romana y Grand Rapids.

VARIEDAD ROMANA

Es una variedad de lechuga con hojas plisadas algo lizas y curvadas en la punta de las mismas y por eso se le ha dado el nombre de lechuga tipo cos.

Esta variedad no forma cabeza pero cuando llega a la madurez lista para ser comercializada adquiere una forma algo globosa. El color generalmente es verde oscuro que presenta un crecimiento y desarrollo rápido de aproximadamente de 70 a 80 días. Generalmente es utilizada para adorno de comidas en restaurantes, su sabor es un poco mas amargo que la lechuga común o arrepollada pero presenta gran aceptabilidad en restaurantes Italianos.

Se puede cultivar en terrenos que presenten suelos limosos y franco arenosos pero se desarrolla mejor en suelos que presentan una buena aireación, drenaje y sobre todo buena cantidad de materia orgánica. Tolerancia temperaturas mas o menos altas y se puede cultivar en climas templados y semicálidos con variaciones estacionales bien marcadas. El rendimiento de esta variedad es variable y depende de los cuidados y manejo adecuado, así como también de las condiciones climáticas prevalecientes.

Su valor comercial fluctúa de una temporada a otra pero generalmente presenta un valor comercial aproximado de tres a cuatro quetzales por unidad.

VARIEDAD GRAND RAPIDS

Es una variedad de lechuga de hoja suelta con características de ser muy arrugada y presentar la forma mas o menos de una rosa.

Es una variedad muy precoz y se adapta a climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varia según su cuidado y las condiciones climáticas prevalecientes. Presenta una coloración verde pálido pero su forma es muy agradable.

La base del tallo es mas o menos delgada y la formación de las hojas es de una forma espiralada.

Esta variedad se puede cultivar muy bien en suelo limosos aunque se ha demostrado que también en suelos arenosos o franco arenosos que presenten una pequeña parte de materia orgánica, lo suficiente como para poder tener un desarrollo normal.

Su periodo de crecimiento y desarrollo en condiciones adecuadas varia entre 73 a 82 días.

De todas las variedades de hojas suelta es la que presenta mayor aceptabilidad para decoraciones de alimentos en restaurantes, aunque se puede consumir preparándola en forma de ensalada, presentando una alternativa mas para su utilización ya que su sabor es bastante aceptable por que su sabor no es amargo.

5. OBJETIVOS:

GENERAL:

Evaluar el rendimiento de cuatro variedades de lechuga en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato una mezcla de arena y cascarilla de arroz en una proporción de 50% de cada una y una fórmula nutricional.

ESPECÍFICOS:

Determinar la variedad de lechuga que presenta el mayor rendimiento.

Determinar el contenido de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio y hierro de las variedades de lechuga Salinas, Romana, Grand Rapids y Boston producidas por el sistema hidropónico.

Establecer el costo de producción en cultivo hidropónico de las variedades de lechugas, Salinas, Boston, Romana y Grand Rapids.

6. HIPÓTESIS

La variedad de lechuga Salinas es la que produce un mayor rendimiento, en comparación con las otras variedades evaluadas.

Las variedades de lechuga producidas por el método hidropónico tienen un alto contenido de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio y hierro; comparado con el contenido nutricional de las lechugas producidas mediante el método convencional.

La de producción de lechugas con el sistema hidropónico posee un costo de producción bajo comparado con el sistema tradicional de producción además puede ser una alternativa de producción económico y muy rentable para los agricultores

7. METODOLOGÍA.

7.1 RECIPIENTES DE CULTIVOS

Los recipientes de cultivo se hicieron de madera de forma rectangular, de 0.90 metros de largo por 0.86 metros de ancho, los cuales fueron forrados internamente con plástico de color negro. Se le dejó un drenaje para no saturar de agua el sustrato de crecimiento.

7.2 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

El sustrato fue el material en el que se desarrollaron las raíces de las plantas y que a la vez sustituyó al suelo. La preparación del sustrato se hizo de la siguiente manera:

La cascarilla de arroz fue colocada sobre costales de plástico y se regó diariamente con agua, se procedió a hacer el volteo diario durante ocho días, pasado este tiempo se lavó la cascarilla con suficiente agua limpia, haciéndolo por lo menos unas cuatro veces, como un método de desinfección para algunos microorganismos que pudieran estar en el sustrato. La cascarilla de arroz utilizada para sustrato fue obtenida de cultivos recién cosechados con el fin de evitar que existiera materia orgánica en descomposición que pudiera afectar el buen desarrollo del cultivo y para eliminar compuestos exudados y mieles que atraen a las hormigas así como microorganismos que descomponen más rápidamente el sustrato.

Se colocó la arena blanca (pómez) de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{8}$ de pulgada sobre costales plásticos para luego lavarla con agua hasta que el agua salió de color cristalino; esto para tratar de eliminar todas las impurezas que pudiera contener el material de sustrato, y además para eliminar las posibles cantidades de calcio que pudiera contener la arena; luego se procedió a lavarla con suficiente agua.

Para el semillero se hizo una mezcla de 50% de cascarilla de arroz y 50% de arena blanca en una proporción en volumen, la mezcla se mantuvo húmeda.

Para preparar las cajas de cultivo definitivo, la mezcla se hizo de la misma manera.

7.3 PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS

Los Kits de solución para hidroponía constaron de dos soluciones llamadas A y B para macro y micronutrientes. La razón por la cual no se preparó una sola solución fue separar los compuestos con calcio (nitrato de calcio, solución A) de los compuestos con metales de la solución B.

Cada Kit constó de 1 litro de la solución A y 0.4 litros de la solución B. Para la preparación en el laboratorio se utilizó el procedimiento propuesto por Marulanda (9) en una proporción 5:2, preparándose lotes de 100 litros de solución A y 40 litros de solución B. La solución A se preparó directamente, mientras que la solución B se preparó haciendo primero una solución concentrada de los nutrientes minoritarios y agregándola cuando se preparó la solución con nutrientes intermedios (nitrato de magnesio, sulfato de magnesio, y citrato de hierro amoniacal).

CUADRO 1. COMPUESTOS NECESARIOS PARA PREPARAR LAS SOLUCIONES HIDROPONICAS

COMPUESTO	GRADO % de pureza	Formula N-P-K	Proveedor
Fosfato monoamónico, $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	94-96%	12-61-0	Formulac. Agrícolas
Nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	94-96%	15-0-0 Ca 19%	Agribodegas
Nitrato de potasio, KNO_3	98-99%	13-0-46	Formulac. Agrícolas.
Nitrato de magnesio, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	92-95%	11-0-0 MgO 16%	Formulac. Agrícolas.
Sulfato de magnesio, $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	98-99%	S 13% MgO	Agribodegas
Sulfato de manganeso, $\text{Mn}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	98-99%	16.3%	Agribodegas
Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	98-99%	N/A	Agribodegas
Sulfato de zinc, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	98-99%	N/A	Quirsa
Sulfato de cobalto, $\text{CoSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	98-99%	N/A	Quirsa
Acido bórico, BH_3O_3	98-99%	N/A	Quirsa
Molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	98-99%	N/A	Quirsa
Citrato de hierro amoniacal	98-99%	N/A	Quirsa

FUENTE: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Soluciones Hidropónicas (7).

CUADRO 2 PREPARACIÓN DE DIFERENTES VOLÚMENES DE SOLUCIONES HIDROPÓNICAS CONCENTRADADAS

SOLUCIÓN	Volúmenes de agua.			Aplicación por m^2
	1 litro (g)	100 litros (g)	1000 litros (g)	
MACRONUTRIENTES				15 ml (1000 ml dura para 67 días)
Fosfato monoamónico	34.0	3,400	34,000	
Nitrato de calcio	208.0	20,800	208,000	
Nitrato de potasio	110.0	11,000	110,000	
MICRONUTRIENTES				6 ml. (400 ml dura 67 días)
Nitrato de magnesio	310.500	31,050	310,500	
Sulfato de magnesio	123.000	12,300	123,000	
Sulfato de manganeso	0.500	50	500	
Sulfato de cobre	0.120	12	120	
Sulfato de zinc	0.300	30	300	
Sulfato de cobalto	0.005	0.5	5	
Acido bórico	1.550	155	1550	
Molibdato de amonio	0.005	0.5	5	
Citrato de hierro amoniacal	4.080	408	4080	

a). Preparación de la solución de macronutrientes:

Para la preparación de la solución de macronutrientes se utilizo los compuestos y concentración que se indica en el cuadro 3.

CUADRO 3. CONCENTRACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA DE MACRONUTRIENTES

Compuesto	Concentración en g/L
Fosfato monoamónico	34.0
Nitrato de calcio	208.0
Nitrato de potasio	110.0

FUENTE: INCAP; Soluciones Hidropónicas (7).

Para la preparación de 100 L, en un tonel de plástico con marcas en el nivel de 50 y 100 L, se agregaron 50 litros de agua corriente y uno por uno los reactivos que se indican en el cuadro 4.

CUADRO 4. CANTIDADES NECESARIAS PARA PREPARAR 100 LITROS DE SOLUCIÓN DE MACRONUTRIENTES

Compuesto	Cantidad en gramos	Cantidad en Kg
Fosfato monoamónico	3,400	3.4
Nitrato de calcio	20,800	20.8
Nitrato de potasio	11,000	11.0

FUENTE: INCAP; Soluciones Hidropónicas (7).

Se agitó con una varilla de vidrio ó plástico PVC para disolver completamente todo el reactivo. Se agregó el siguiente reactivo solo cuando ya se había disuelto el anterior. Al terminar de disolver se agregó el agua hasta llegar a la marca de 100 L y se agitó por 10 minutos más.

b). Preparación de la solución de micronutrientes.

Para la preparación de la solución de micronutrientes se utilizaron los compuestos y las concentraciones descritas en el cuadro 5.

CUADRO 5. CONCENTRACIÓN DE LOS COMPUESTOS PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN DE MICRONUTRIENTES

Compuesto	Concentración en g/L
Nitrato de magnesio	310.500
Sulfato de magnesio	123.000
Sulfato de manganeso	0.500
Sulfato de cobre	0.120
Sulfato de zinc	0.300
Sulfato de cobalto	0.005
Acido bórico	1.550
Molibdato de amonio	0.005
Citrato de hierro amoniacal	4.080

FUENTE: INCAP; Soluciones Hidropónicas. (7)

c). Preparación de la solución concentrada de micronutrientes.

Esta solución de micronutrientes se hace 20 veces más concentrada, con los nutrientes que son

compatibles entre sí, y que están en baja concentración. De este modo hay menos error con pesar cantidades pequeñas y se puede tener guardada esta solución para preparar solución B final más rápido.

Para la preparación de la solución concentrada de micronutrientes fueron pesadas las cantidades de compuestos que se indican en el cuadro 6.

CUADRO 6. CANTIDADES NECESARIAS PARA PREPARAR SOLUCIÓN CONCENTRADA DE MICRONUTRIENTES

Compuesto	Peso en gramos
Sulfato de manganeso	50.00
Sulfato de cobre	12.00
Sulfato de zinc	30.00
Sulfato de cobalto	0.50
Acido bórico	155.00
Molibdato de amonio	0.50

FUENTE: INCAP Soluciones Hidropónicas (7).

Se agregó el ácido bórico en un beaker de 2 litros. Se disolvió con 1.5 litros de agua destilada. Cuando fue necesario se calentó un poco la solución. Cuando el ácido bórico estuvo totalmente disuelto, se transfirió la solución a un balón volumétrico de 5 litros. Se agregó otro litro y medio de agua destilada al beaker y se disolvió con los demás nutrientes, uno por uno. Cuando estuvieron totalmente disueltos se pasaron al balón de 5 litros donde ya estaba disuelto el ácido bórico. Se aforo el balón con agua destilada. La solución fue pasada a un frasco oscuro y guardada a temperatura ambiente. Esta solución fue agregada cuando se preparó solución de micronutrientes, se utilizaron 50 ml por cada litro que se preparó.

d). Preparación de la solución de micronutrientes final:

En un tonel de plástico con marca en el nivel de 40 litros, se agregaron 20 litros de agua corriente y dos litros de la solución concentrada preparada en el paso anterior; se agregaron uno por uno, los reactivos que se indican el cuadro 7

CUADRO 7. CANTIDADES DE ELEMENTOS NECESARIOS PARA PREPARAR LOS 40 LITROS DE SOLUCIÓN DE MICRONUTRIENTES FINALES

Compuesto	Cantidad en gramos	Cantidad en Kg
Nitrato de magnesio	12,420.0	12.42
Sulfato de magnesio	4,920.0	4.92
Citrato de hierro amoniacal	163.20	0.1632

FUENTE: INCAP, Soluciones Hidropónicas (7).

Se agitó con una varilla o tubo de plástico para disolver completamente el reactivo. Se agregó el siguiente reactivo solo cuando ya se había disuelto el anterior. Al terminar de disolverse se agregó el agua que hacía falta para llegar a la marca de 40 litros y se agitó por diez minutos más.

CUADRO 8. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA DE MICRONUTRIENTES.

Mineral	Conc. g/l	Compuesto	P.M	PM	Conc. (g/L conc. final, mg/L)			
			Compuesto	Elemento	Elementos	100%	50%	25%
Magnesio	310.500	MgNO ₃	256.41	24.31	29.44	58.47	29.34	14.69
Magnesio	123.000	MgSO ₄	246.48	24.31	12.13	24.09	12.09	6.06
MgO	41.570	(Suma de Mg)	24.31	40.31	68.93	136.90	68.69	34.40
Hierro	4.080	Citrato amon.	15.4% Fe	55.85	0.63	0.25	0.63	0.31
Manganeso	0.500	MnSO ₄ .H ₂ O	169.02	54.94	0.16	0.32	0.16	0.08
Molibdeno	0.005	NH ₄ Mo ₇ N ₆ O ₂₄ .4H ₂ O	1235.86	95.94	0.00	0.01	0.00	0.00
Zinc	0.300	ZnSO ₄ .7H ₂ O	287.54	65.37	0.07	0.14	0.07	0.03
Cobalto	0.005	CoSO ₄ .7H ₂ O	281.1		0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	1.550	BH ₃ O ₃	61.83	10.81	0.27	0.54	0.27	0.14
Cobre	0.120	CuSO ₄ .5H ₂ O	249.68	63.54	0.03	0.06	0.03	0.02
Nitrato	310.500	MgNO ₃	256.41	62.01	75.09	149.14	74.83	37.48
N de Nitrato	310.500	MgNO ₃	256.41	14.01	16.97	33.69	16.91	8.47
Amonio NH ₄	0.005	NH ₄ Mo ₇ N ₆ O ₂₄ .4H ₂ O	1235.86	18.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfato	123.00	MgSO ₄	246.48	96.06	47.94	95.21	47.77	23.93
Sulfato	0.500	MnSO ₄ .H ₂ O	169.02	96.06	0.28	0.56	0.28	0.14
Sulfato	0.120	CuSO ₄ .5H ₂ O	249.68	96.06	0.05	0.09	0.05	0.02
Sulfato	0.300	ZnSO ₄ .7H ₂ O	287.54	96.06	0.10	0.20	0.10	0.05
Sulfato	0.005	CoSO ₄ .7H ₂ O	281.1	96.06	0.00	0.00	0.00	0.00
S de SO ₄	48.37	(Sulfato total)	96.06	32.06	16.15	32.07	16.09	8.06

FUENTE: INCAP; Soluciones Hidropónicas

REFERENCIA:

La concentración completa, media y cuarta; esta dada a la relación de 5:2 propuesta por Marulanda; la cual esta en un 100%, 50%, Y 25%.

CUADRO 9. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA DE MACRONUTRIENTES

Elemento	Conc. g/l	Compuesto	P.M Compuesto	P.M Elemento	Conc. (g/L Conc. Final, mg/L)			
					Elemento	Completa	Media	Cuarta
Calcio	208.000	Ca(NO ₃) ₂	182.11	40.08	45.78	227.30	114.05	57.12
Potasio	110.000	KNO ₃	101.11	39.10	42.54	211.22	105.98	53.08
K ₂ O	110.000		202.22	94.20	51.24	254.43	127.66	63.94
Nitrato	208.000	Ca(NO ₃) ₂	182.11	124.01	141.64	703.30	352.87	176.75
Nitrato	110.000	KNO ₃	101.11	62.01	67.46	334.94	168.05	84.17
N de Nitrato	226.07		62.01	14.01	47.23	234.52	117.67	58.94
Amonio	34	MAP	115.03	18.04	5.33	26.42	13.28	6.65
N de amonio	5.33		18.04	14.01	4.14	20.56	10.31	5.17
Fósforo	34	MAP	115.03	30.97	9.16	45.46	22.81	11.42
P ₂ O ₅	9.16		61.95	141.94	20.98	104.16	52.26	26.18
Fosfato	34	MAP	115.03	94.97	28.07	139.38	69.93	35.03

FUENTE: INCAP; Soluciones Hidropónicas (7).

Para la aplicación de las soluciones se prepararon dos soluciones diluidas de macro y micronutrientes a partir de las soluciones concentradas en donde se determinó la cantidad de cada solución concentrada que se debe diluir en un litro de agua:

$$V1 * C1 = V2 * C2$$

$$V1 * 200X = 1000ml * 1X$$

$$V1 = \frac{1000ml * 1X}{200X} = 5ml \text{ de la solución de macronutrientes}$$

$$V1 = \frac{1000 ml * 1X}{500X} = 2ml \text{ de la solución de micronutrientes}$$

Para la aplicación de los nutrientes se preparó dos tipos de soluciones diluidas o solución de nutrientes con su respectiva concentración completa y concentración media, las cuales se describen en el cuadro 10.

CUADRO 10. CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES UTILIZADOS PARA LOS RIEGOS DIARIOS DE MACRO Y MICRONUTRIENTES.

Concentración	Cantidad de agua	Cantidad de nutriente	
		macronutriente	micronutriente
Concentración completa	1 Litro	5.0 ml	2.0 ml
Concentración Media	1 Litro	2.5 ml	1.0 ml

Estas dos soluciones se prepararon de manera similar, ya que ambas llevan una relación en volumen de 5:2 de las soluciones A y B respectivamente; es decir, por cada 5ml de la solución de macronutrientes se agregaran 2ml de la solución de micronutrientes a un litro de agua.

Existen 16 elementos químicos, considerados indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la fórmula que se utilizó tiene todos estos elementos. Debido a que cada vegetal consume los elementos en diferente proporción, la fórmula se hizo como un promedio de los requerimientos nutricionales de varios tipos de hortalizas. Debido a que la solución de nutrientes se preparó de forma manual, no fue posible ubicar a todos los elementos en una sola solución, ya que ciertos elementos se precipitan, perjudicando a la planta en lugar de nutrirla. Por esto se prepararon dos soluciones concentradas con la composición siguiente:

La solución de macronutrientes contiene los siguientes compuestos químicos de grado agrícola:

Fosfato monoamónico, grado 10 - 61 - 0 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

Nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Nitrato de potasio KNO_3

La solución B contuvo los siguientes compuestos químicos de grado agrícola.

Sulfato de magnesio MgSO_4

Sulfato de manganeso $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Sulfato de zinc $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Sulfato de cobalto $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Ácido bórico H_3BO_3

Molibdato de amonio $\text{NH}_4\text{Mo}_7\text{N}_6\text{O}_{24} \cdot 4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Citrato de hierro amoniacal

7.4 NUTRICION DE LAS PLANTAS

Como las plantas no estuvieron creciendo en tierra, sino en sustrato inerte, se les aplicaron los elementos en forma de soluciones diluidas en agua. La adición de la solución nutritiva a las plantas se hizo de la siguiente forma:

Con una pipeta se midió 5ml de la solución de macronutrientes y se diluyó en un litro de agua. Con otra pipeta se midió 2ml de la solución de micro nutrientes y se agregó al mismo litro de agua, luego se procedió a agitarlo bien. Esta solución se utilizó cuando las plantas tenían más de diez días de nacidas o siete de haberse transplantado. Cuando las plantas tuvieron menos de diez días de nacidas o menos de siete de haber sido transplantadas, la solución de nutrientes se preparó midiendo 2.5 ml de la solución de macronutrientes y diluyéndolo en un litro de agua, luego se midió 1ml de la solución de micronutrientes y se diluyó en el mismo litro de agua y se agitó bien para que se mezclara bien la solución. La solución de nutrientes se aplicó al sistema de sustrato sólido, con base al área de la cama; 2.0 y 3.5 litros por metro cuadrado (1). La cantidad menor (2.0 litros) se aplicó en época de lluvia y la cantidad mayor (3.5) cuando existió altas temperaturas, ya que las plantas consumieron mayor cantidad de agua cuando existió temperatura altas. En el caso de las cajas de madera la cantidad se calculó así:

$$\text{Área} = \text{largo} * \text{ancho} \quad (0.90 \text{ m}) * (0.86\text{m}) = 0.774 \text{ m}^2$$

Esto quiere decir que la cantidad de la solución de nutrientes fue:

Días soleados y caluroso con aumento de temperaturas : 2.7 litros por caja

En días de lluvia y descenso de temperaturas: 1.6 litros por caja

Los volúmenes requeridos de la solución de macro y micronutrientes fueron medidos en pipetas de 10 a 25ml cuando se necesitó volúmenes pequeños. Cuando se requirió medir volúmenes relativamente grandes entonces se utilizó una probeta graduada ya que facilitó la tarea de medir mejor los volúmenes.

7.5 PREPARACIÓN DEL SEMILLERO

El semillero se preparó de la siguiente manera:

Se tomó la caja con el sustrato preparado para semillero la cual tuvo un largo de 40cm de largo por 30cm de ancho por cada variedad y se humedeció, luego de esto se niveló con una tablilla, seguidamente se trazó surcos poco profundos a cada cinco centímetros de distancia, luego se depositó las semillas a una distancia de un centímetro poniendo de una a dos semillas por postura, luego se cubrieron las semillas con una capa delgada de sustrato, procediendo a golpear suavemente con la mano, esto para garantizar que las semillas tuvieran las condiciones necesarias para la germinación.

Después de realizada la siembra se efectuó un riego muy suave sobre el sustrato, se cubrió la caja con hojas de papel periódico sujetándolas de las esquina con cinta adhesiva, después se humedeció el periódico con agua tres veces al día. Estos riegos se hicieron a primera hora de la mañana y como fue necesario antes y

después de medio día, lo que se trató fue que el sustrato no se secase por ningún motivo, ya que entonces las semillas no germinarían.

Al cuarto día de haber hecho la siembra se destapó el semillero y verificó la germinación de las semillas, se retiró el papel periódico y se comenzó los riegos con solución de nutrientes.

A la emergencia de las plantas se comenzó a hacer los riegos con la solución de nutrientes, agregando medio litro de esta solución por día, excepto en el séptimo día en el que se agregó un litro de agua pura. Estos riegos al semillero se hicieron con mucho cuidado para no lastimar las plantas recién emergidas.

7.6 TRANSPLANTE A LOS RECIPIENTES DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Cuando las plantas alcanzaron cierta altura y tenían por lo menos tres semanas después de la siembra fueron transplantadas a una cama de cultivo definitivo. Las plantas se transplantaron a los 27 días después de la siembra, para el transplante se requirió que las plantas tuvieran de tres a cuatro hojas verdaderas. El transplante a los sistemas de cultivos hidropónicos se realizó así:

Se realizó el transplante, regando el semillero antes con suficiente agua para aflojar el sustrato. Se niveló el sustrato de la cama definitiva con una tablilla plana. Se marcaron los puntos de siembra en el sustrato, haciéndolo con un molde de papel Manila.

Se obtuvieron las plantas del semillero una por una, teniendo cuidado de sacar toda la raíz sin lastimarla. Después del transplante se realizó un riego con medio litro de solución de nutrientes.

7.7 DENSIDAD DE SIEMBRA UTILIZADO PARA EL SISTEMA HIDROPÓNICO.

La densidad utilizada se basó en las recomendaciones realizadas en otros países en aumentar de un 10% a 30% del cultivo normal en suelo. La densidad a utilizada fue: 32 plantas por metro cuadrado (1). Para el área de la unidad experimental se tuvo 23 plantas por cada unidad experimental.

7.8 FRECUENCIA DE APLICACIÓN DE SOLUCIONES EN EL SUSTRATO DEFINITIVO

Los nutrientes se aplicaron diariamente al sustrato y a las plantas; la hora de aplicación fue entre las 7:00 y 8:00 de la mañana. Cuando en el día existió demasiado calor se procedió a regar una pequeña cantidad de agua para lavar los excesos que pudieran quedar sobre la planta, para evitar quemaduras de las hojas.

7.9 RIEGO

Se mantuvo humedecido el sustrato pero no saturado, para no reducir el contenido de oxígeno. Por lo tanto el riego se hizo cuando se fue necesario. El sistema de riego a utilizado fue; irrigación superficial utilizando una regadera manual.

7.10 CONTROL DE PLAGAS

El control de plagas se empezó a ejecutar desde el momento de la preparación del sustrato, controlando que no existiera ninguna plaga que pudiera afectar el buen desarrollo y crecimiento de las plantas.

En el sistema hidropónico, las plagas se controlaron utilizando métodos de control natural o biológico, para no alterar la composición de los nutrientes a aplicar y para hacer la técnica de una forma menos contaminada.

Se realizó una revisión diaria de la huerta y a veces parte de ella. En esta revisión se trató de detectar la presencia de insectos en sus distintos estados de desarrollo para luego destruirlos de una forma manual, lo que permitió romper el ciclo de vida de las plagas. La revisión se realizó en las primeras horas de la mañana o en las últimas de la tarde, ya que fue cuando los insectos se hicieron más fácilmente visibles, porque la temperatura había descendido.

Los métodos de control que se utilizaron fueron:

Colocación de banderas de plástico de color amarillo intenso, impregnadas con aceite de motor, las cuales sirvieron de trampas atrayentes.

Aplicación de una solución concentrada de jabón de uso doméstico. Esta solución se aplicó con un atomizador en forma de rocío, el cual fue muy eficiente para el control de pulgones y larvas desnudas pequeñas. La solución se aplicó una vez por semana.

Como un complemento a las prácticas que redujeron el nivel de los posibles daños atribuibles a plagas, se aplicó en rotación y con algunos intervalos extractos de ajo, eucalipto, apazote, flor de muerto.

Estos extractos se extrajeron macerando y exprimiendo dentro de un lienzo fino, cantidades variables de hojas o bulbos de la forma que se indica que en cuadro 11.

CUADRO 11. EXTRACTOS VEGETALES UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS EN LA HUERTA HIDROPÓNICA.

Especie	Cantidad	Agua	Dosis del extracto por litro de agua
Ajo y cebolla	Una cabeza de ajo y una cebolla mediana. Se muelen muy bien, se cuelean	1 Lt	500 ml Controla mosca blanca
Ajo	100 gr. bulbos	1 Lt	150 ml.
Eucalipto	150 grs hojas	1 Lt	100 ml.
Apazote	200 grs hojas Se pueden incluir tallos tiernos	1 Lt.	100 ml.

FUENTE: PNUD; Hidroponía Popular

Procedimiento de preparación:

Independientemente de cuál planta se utilice, se maceran completamente las partes seleccionadas, luego se colaron en un lienzo o colador (cedazo) fino. Este extracto se puso al fuego hasta que hirviera ó,

según los ingredientes, se diluyó en agua hirviendo. Se dejó enfriar y se guardó en envases plásticos o de vidrio de color oscuro u opaco hasta el momento de la aplicación.

Cuando se necesitó aplicar uno de los productos, se sacó la cantidad a utilizar, se mezcló con un litro de agua y se aplicó sobre el follaje. Fue preferible preparar la cantidad de insecticida natural que se requirió cada vez, ya que gran parte de su eficiencia en la mayoría de ellos disminuye mucho cuando se aplican después de 24 horas de haber sido preparados.

Lo ideal es tener varios de estos insecticidas naturales para rotarlos, pues unos son más eficientes que otros para determinadas plagas, pero al combinar las aplicaciones se tienen resultados más satisfactorios.

7.12 VARIABLES DE RESPUESTA

7.12.1. PESO FRESCO DE LA PARTE AÉREA

Cuando las lechugas alcanzaron el tamaño comercial se procedió a cosecharlas, se pesó y se tomó el dato de peso por unidad experimental de cada variedad evaluada.

7.12.2. INCREMENTO EN PESO SECO

Con el fin de conocer el incremento en peso seco de las variedades de lechuga evaluadas, se procedió a realizar muestreos a cada ocho días realizando el primero a los 25 días después de la siembra y sacándole el peso seco de la parte aérea.

7.12.3 APARIENCIA FÍSICA DE LA LECHUGA

Para determinar la apariencia física de la lechuga se procedió a realizar un análisis colorimétrico con un tintómetro Lovibond, el cual se hizo en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Esto fue realizado con el fin de conocer la calidad de las lechugas producidas por el método hidropónico de producción, y predecir la aceptación en el mercado. De las variedades evaluadas se sacó una muestra de las lechugas de mayor tamaño, la cual consistió en una lechuga de cada variedad la cual se hizo seleccionando al azar una de las repeticiones. El análisis se hizo a las primeras hojas que es donde se ve la apariencia de física de la lechuga. Se introdujeron las hojas en el tintómetro y se observaron de forma directa, clasificando los colores según caracteres establecidos en el tintómetro.

7.12.4 DÍAS A LA COSECHA

Se llevó un control del tiempo que requirió cada variedad para llegar a la cosecha. La primera variedad en llegar a la madurez lista para la cosecha se consideró la más precoz.

7.12.5 ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL CULTIVO.

Al final de cada período de cultivo de cada variedad se tomó una muestra al azar para realizarle un análisis de composición química de minerales. Las muestras fueron tomadas de una de las repeticiones y consistieron en 2 kilogramos de cada variedad. (11).

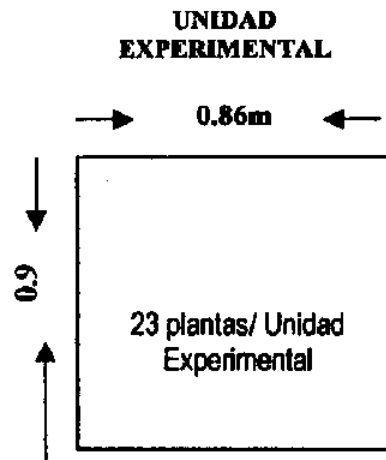
Los minerales analizados fueron calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, azufre y hierro. El análisis se realizó en el Laboratorio Nacional de Salud; y se utilizó el método de análisis por espectrofotometría de absorción atómica de llama. (ver metodología en anexo).

7.12.6 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Se llevó un registro de todos los materiales utilizados y costo de cada uno; así como los costos de investigación y fuente de financiamiento.

7.13. ARREGLO Y ALEATORIZACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

T1	T2	T3	T4	IX
T1	T2	T4	T3	VII
T2	T4	T1	T3	III
T1	T3	T4	T2	I
T3	T4	T1	T2	II
T2	T1	T4	T3	VIII
T4	T3	T2	T1	V
T4	T3	T2	T1	IV
T3	T2	T1	T4	VI



REFERENCIAS:

T1- VARIEDAD SALINAS

T2- VARIEDAD BOSTON

T3- VARIEDAD ROMANA

T4- VARIEDAD GRAND RAPIDS

LOS NUMEROS ROMANOS A LA IZQUIERDA DESIGNAN LAS REPETICIONES

7.14. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado para evaluar el rendimiento de las variedades de lechuga fue Bloques al azar, utilizando cuatro tratamientos y nueve repeticiones.

Los tratamientos fueron asignados a las unidades experimentales al azar. Se utilizó este diseño debido a que las condiciones de ubicación de las unidades experimentales fueron diferentes y existió una gradiente respecto a las horas de sol recibidas por los tratamientos.

El número de unidades experimentales fue de 36.

7.14.1 HIPÓTESIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

$$H_0: \tau_i = \tau \quad \forall i$$

Las variedades evaluadas producirán estadísticamente similar rendimiento.

$$H_a: \tau_i \neq \tau, \text{ para al menos un } i$$

Por lo menos una de las variedades evaluadas producirá una diferencia en el rendimiento.

7.14.2 SUPUESTOS

$$\epsilon_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$$

Los errores se distribuyen normalmente con media cero y varianza constante.

7.14.3 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, t$
 $j = 1, 2, 3, \dots, r$

Y_{ij} = Rendimiento en Kg/ha de la ij-ésima unidad experimental

μ = Efecto de la media general

τ_i = Efecto de la i-ésima variedad sobre la ij-ésima unidad experimental.

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

7.15 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A la variable de respuesta peso fresco, como es una variable cuantitativa, continua se le hizo un análisis de varianza para conocer si existía significancia en el rendimiento, se realizó una prueba múltiple de medias Tukey con el objetivo de conocer la(s) variedad(es) que presentaran el mayor rendimiento expresado en peso fresco por unidad experimental de 0.774 m². Además se procedió a realizar la prueba de Shapiro y Wilk con el fin de corroborar los supuestos de que los datos de peso fresco de las variedades evaluadas provinieron de una población de distribución normal y así poder asegurar el análisis de varianza.

El peso seco es una variable cuantitativa, continua, que provino de una población de distribución normal. Se realizó una selección al azar de dos repeticiones, las cuales fueron seleccionadas para realizar los muestreos de las plantas de las diferentes variedades. Los muestreos se realizaron a cada ocho días y fue un tipo de muestreo al azar, que consistió en cuatro plantas por unidad experimental de 0.774 m² y luego se procedió a secar al horno a una temperatura de 80 grados centígrados y como siguiente paso se procedió a pesar en una balanza analítica. A los datos de peso obtenidos por muestreo se le saco un promedio de las dos repeticiones muestreadas, donde se obtuvo al final cinco datos por cada variedad. Los datos obtenidos se le procedió a realizar un análisis de regresión con modelo exponencial ya que fue el que mejor explico el incremento en peso seco; seguidamente se procedió a graficar para poder presentar de una mejor manera los resultados de cada una de las ecuaciones.

La apariencia física, es una variable cualitativa, que se determinó realizando un análisis colorimétrico

en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. De las variedades evaluadas se realizó un muestreo al azar en donde de una repetición se tomo una muestra de una lechuga por variedad. El análisis colorimétrico se realizó con un tintómetro Lobvibond a las primeras hojas que es donde se observa la apariencia física de la lechuga.

Días a la cosecha es una variable cuantitativa, continua que se determinó llevando un control de los días que necesitó cada una de las variedades para llegar a la cosecha.

El análisis bromatológico, es una variable cuantitativa, continua. Al final de cada periodo de cosecha se realizo un muestreo al azar, donde la muestra consistió en 2 Kg. de cada variedad, el muestreo se realizó seleccionando al azar de una repetición. El análisis se realizó en el Laboratorio Nacional de Salud y se utilizó la metodología de espectrofotometría de absorción atómica por llama.

El contenido nutricional de las variedades expresadas en mg por 100 gramos de muestra, se comparó con el sistema tradicional expresado en la tabla de composición de alimentos del INCAP.

El costo de producción, es una variable cuantitativa discreta, en donde se llevo un registro de los materiales necesarios para la implementación y operación del sistema hidropónico a fin de conocer los costos totales de producción.

7.16 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

De los análisis realizados a las variables se presentan cuadros y gráficas para una mejor presentación, entendimiento e interpretación de los resultados. Luego se presentan conclusiones y recomendaciones.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Rendimiento en peso fresco de las variedades de lechuga:

Al momento de la cosecha se procedió a determinar el peso fresco en 0.774 m² de las cuatro variedades donde se obtuvo 5.4285 Kg. producidos por la variedad de lechuga Salinas, 4.0228 Kg. de la variedad Romana, 3.6928 Kg. de la variedad Grand Rapids y 3.0357 Kg. de la variedad Boston.

Se observó que los rendimientos producidos por las diferentes variedades fue alto y esto fue debido a que la respuesta en el rendimiento de lechuga cultivada bajo condiciones hidropónicas, dependió de la naturaleza de la variedad y de las prácticas de manejo en la misma planta (1).

Los rendimientos obtenidos fueron desde 3.0357 Kg. hasta 5.4285 Kg. por unidad experimental de 0.774 metros cuadrados.

La masa promedio por lechuga producida fue de 131.986 gramos de la variedad Boston hasta 236.021 gramos de la variedad Salinas.

Para corroborar de que los datos de rendimiento provinieron de una población de distribución normal, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro y Wilk por el sistema de análisis estadístico (SAS), esto para asegurar la validez del análisis de varianza y se determinó que no hubo evidencia de no normalidad en el peso fresco de las variedades de lechugas evaluados: (W: Normal 0.96686 Pr<W 0.5315).

El análisis de varianza realizado a la variable peso fresco se muestra en el cuadro 12.

CUADRO 12. RESUMEN ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO EN PESO FRESCO DE LECHUGA, (*Lactuca sativa* L.) POR UNIDAD EXPERIMENTAL DE 0.774 m².

Fuente de variación	GL	SC	CM	FC	FT	R ²	CV	X	Pr>W
BLOQUES	6	3.6369		31.2579 **	3.16	0.853	11.61	4.038	0.5315
TRATAMIENTOS	3	21.4086	7.1362						
ERROR	18	4.1109	0.2283						
TOTAL	27	29.1564							

Según el coeficiente de variación existió un buen manejo y control del error experimental. Como F calculada fue mayor que F tablada significó la existencia de significancia respecto al rendimiento en peso fresco de las variedades de lechuga evaluadas. La media general de rendimiento en peso fresco de las cuatro variedades de lechugas evaluadas por el sistema hidropónico fue de 4.038 Kg. por unidad experimental de 0.774 m². El coeficiente de determinación expresa que el 85% de la variabilidad de los datos fue explicado por el análisis de varianza que se realizó por el método estadístico SAS.

El rendimiento medio expresado en peso fresco de la variedad de lechuga Salinas superó a la variedad Romana en 1.4057 Kg. que fue la que presentó el segundo mejor rendimiento por unidad experimental de

0.774 metros cuadrados. La variedad salinas también superó en 1.7357 Kg. a la variedad de lechuga Grand Rapids, la cual ocupó el tercer mejor rendimiento en peso fresco. La variedad que produjo el más bajo rendimiento en peso fresco, fue la variedad Boston, la cual produjo 3.0357 Kg. por unidad experimental y fue superada por la variedad Salinas en 2.3928 Kg.

La comparación ente los diferentes tratamientos evaluados indicó que estadísticamente la variedad de lechuga Salinas produjo el mayor rendimiento y por tal motivo se acepta la hipótesis planteada respecto al rendimiento en peso fresco.

Los diferentes rendimientos obtenidos así como los resultados de la prueba de comparación de medias se muestra en el cuadro 13.

CUADRO 13. RENDIMIENTO EN PESO FRESCO DE LAS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L) Y RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN.

VARIEDAD	RENDIMIENTO Kg/UE	COMPARACIÓN TUKEY
Salinas	5.43	A
Romana	4.02	B
Grand Rapids	3.69	B
Boston	3.03	C

REFERENCIA: Tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Según el análisis de varianza el coeficiente de variación fue de 11.61% lo que indicó un buen manejo y control del error experimental.

En cultivo hidropónico con sustrato sólido aumentó significativamente el rendimiento por unidad de área (1).

8.1.1 Incremento en peso seco

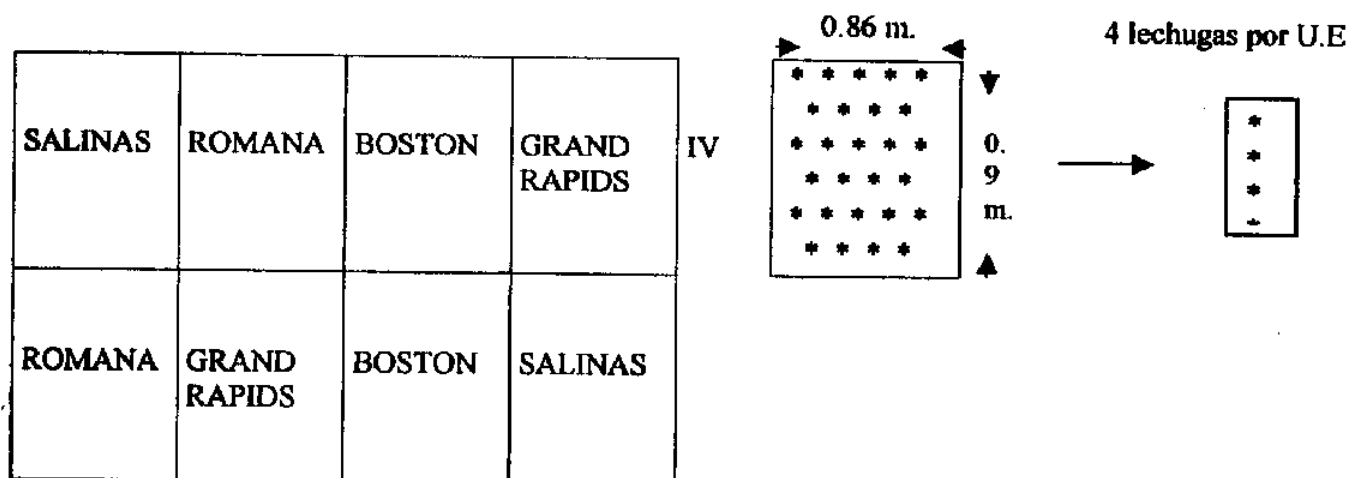
Como complemento al rendimiento, se determinó el incremento de la parte aérea de las variedades de lechuga, llegando a determinar para cada una la ecuación de crecimiento expresado como incremento en peso seco, las cuales fueron: para la variedad Salinas $Y=0.1929 X^{3.2419}$, para la variedad Boston $Y=0.1473 X^{3.2716}$, para la variedad Romana $Y=1.087 X^{3.4798}$ y para la variedad Grand Rapids $Y=0.1102 X^{3.5225}$, donde la variable independiente X es el tiempo en días después del trasplante y Y es el incremento en peso seco. Estas ecuaciones representan el incremento en peso seco de las cuatro variedades en un espacio de tiempo corto o del ciclo de vida del cultivo entre los meses de junio a agosto.

Los coeficientes de determinación fueron respectivamente $R^2 = 0.9821, 0.9913, 0.9921$ y 0.9885 ; estos coeficientes de determinación tienden a acercarse a 1.0, lo cuál indicó que el modelo de regresión fue confiable en cuanto a la proporción de la variabilidad en los datos de peso seco de cada variedad. Según los coeficientes de determinación un 99% de la variabilidad de los datos es explicado por el modelo de ecuación exponencial de cada variedad.

Al hacer una comparación respecto al incremento en peso seco entre las cuatro variedades, tomando un periodo de tiempo en días para cada una de las ecuaciones, se determinó que la variedad de lechuga Grand Rapids presentó el mayor incremento en peso seco con respecto al tiempo. La variedad Salinas presentó el segundo mejor incremento en peso seco seguido por la variedad Romana y Boston respectivamente.

Para conocer el comportamiento del crecimiento representado por un incremento en peso seco, se hizo por medio de muestreos realizados a cada ocho días (2). Los muestreos se empezaron a los 25 días después de la siembra y luego a cada ocho días. Los muestreos se hicieron en dos repeticiones seleccionadas al azar y el tamaño de la muestra fue de cuatro plantas por unidad experimental. Las plantas se cortaron a la altura del cuello de la raíz, luego se transporto al horno en bolsas de papel para proceder al secado y poder determinar el peso seco, para esto se utilizó una balanza analítica.

El esquema de muestreo realizado se muestra a continuación:

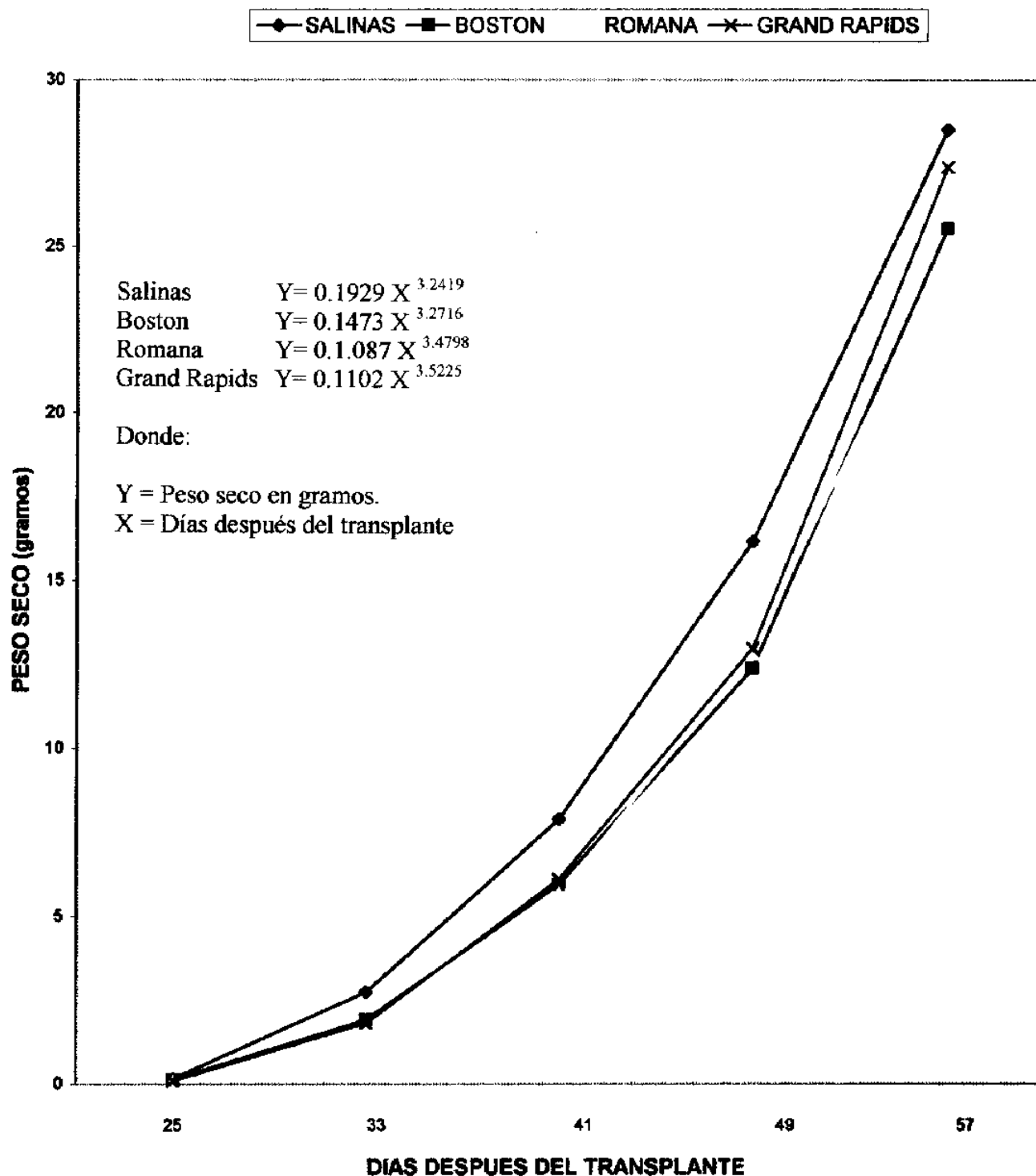


El comportamiento del incremento en peso seco de las variedades de lechuga evaluadas así como sus respectivas ecuaciones se presentan en la grafica 1.

Las curvas de crecimiento obtenidas experimentalmente se presenta mediante una fórmula matemática para facilitar las diversas comparaciones entre el incremento en peso seco de las variedades estudiadas o las condiciones experimentales que pudieron afectar ese crecimiento en peso seco (3).

Las curvas nos muestran el comportamiento respecto al incremento en peso seco en días después del transplante.

Las gráficas de incremento en peso seco de las variedades presentó una tendencia más exponencial que lineal y es por esto que la ecuación presentada en cada una de ellas es exponencial (8).



GRAFICA 1. COMPARACION DEL INCREMENTO EN PESO SECO DE LAS VARIETADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa*).

8.1.2 Apariencia física de la lechuga:

Después de realizar el análisis colorimétrico se comprobó que no existió diferencia significativa en la apariencia física de las variedades de lechugas evaluadas con el sistema de cultivo hidropónico.

En todas las variedades de lechuga se encontró un alto contenido de amarillo, en comparación con el verde esto se fue debido a que el color verde natural de la lechuga es verde pálido, lo cual se obtiene al mezclar un amarillo fuerte con un azul pálido, dando poca tonalidad de verde y alta tonalidad de amarillo.

El color obtenido con las variedades de lechugas cultivadas con el sistema hidropónico no difiere con las producidas por el método convencional de producción en suelo (1).

8.1.3 Días a la cosecha:

En lo que respecta a la precocidad de las variedades de lechugas evaluadas se determinó llevando un registro de los días necesarios para la producción desde la siembra hasta la cosecha, donde se llegó a determinar que se necesitó 67 días para llegar a tener el estado fisiológico listas para la comercialización para todas las variedades; por lo que no existió una variedad que fuera más precoz que las demás.

8.2 Análisis bromatológico de las variedades:

Luego de realizar el análisis químico a las variedades de lechugas con el método de espectrofotometría de absorción atómica de llama, se determinó con la variedad Salinas un contenido nutricional de 46.4 mg de calcio, 49.4 mg de fósforo, 4.6 mg de potasio, 44.8 mg de magnesio 17.4 mg de sodio y 1.0 mg de hierro por cada 100 gramos de tejido.

Con la variedad de lechuga Romana se obtuvo 58.6 mg de calcio, 46.4 mg de fósforo, 4.4 mg de potasio, 55.0 mg de magnesio 17.4 mg de sodio y 1.9 mg de hierro por cada 100 gramos de tejido.

Con la variedad de lechuga Boston se obtuvo 61 mg de calcio, 44 mg de fósforo, 4.2 mg de potasio, 37 mg de magnesio, 15.5 mg de sodio y 1.0 mg de hierro por cada 100 gramos de tejido. Los contenidos nutricionales de las variedades de lechugas evaluadas con el sistema hidropónico se presentan en el cuadro 14.

CUADRO 14. CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) PRODUCIDAS POR EL SISTEMA HIDROPÓNICO

VARIEDAD	SISTEMA HIDROPÓNICO					
	Mg/100gr					
Elementos	Ca	P	K	Mg	Na	Fe
Salinas	46.4	49.4	4.6	44.8	12.1	1.0
Romana	58.6	46.4	4.4	55.0	17.4	1.9
Boston	61.0	44.0	4.2	37.0	15.5	1.0
Grand Rapids	75.6	52.0	4.6	31.0	20	1.0

Para la variedad Grand Rapids se obtuvo 75.6 mg de calcio, 52 mg de fósforo, 4.6 mg de potasio, 31 mg de magnesio, 20 mg de sodio y 1.0 de hierro por cada 100 gramos de tejido.

Desde el punto de vista del contenido nutricional se determinó que respecto al contenido de calcio, fósforo, potasio y sodio, el mayor contenido nutricional se produjo con la variedad Grand Rapids.

Respecto al contenido del elemento hierro se obtuvo con la variedad Romana (1.9 mg/100g), la cuál superó a las demás variedades en 0.9 mg. Así también el mayor contenido nutricional de magnesio se logró con la producción de la variedad Romana, la cual superó en 11.8 mg a la variedad Salinas, en 18 mg a la variedad Boston y en 24 mg a la variedad Grand Rapids.

La variedad Grand Rapids produjo 75.6 mg/100g de calcio superando a la variedad Boston en 14.6 mg que produjo el segundo mayor contenido nutricional de calcio 61.6 mg/100g. Con respecto al elemento nutricional fósforo, la variedad de lechuga Grand Rapids produjo 52mg/100g la cual superó en 8 mg a la variedad Boston que fue la que produjo el segundo mayor contenido de el elemento fósforo. La variedad de lechuga Grand Rapids produjo 4.6 mg/100g de potasio al igual que la variedad de lechuga Salinas. Pero superó en 0.4 mg a la variedad de lechuga Boston y en 0.2 mg a la variedad Romana.

Con respecto al elemento nutricional magnesio, la variedad Romana produjo el mayor contenido al producir 55.0 mg/100g superando a la variedad Salinas en 10.2 mg, la cual produjo 44.8 mg/100g y en 18 mg a la variedad Boston que produjo 37.0 mg/100g y en 24 mg a la variedad Grand Rapids que produjo 31 mg/100g.

Al analizar el elemento nutricional sodio, la variedad de lechuga Grand Rapids produjo 20 mg/100g ; superando en 2.6 mg a la variedad de lechuga Romana que produjo 17.4 mg/100g ; también superó en 4.5 mg a la variedad Boston la cual produjo 15.5 mg/100g y en 7.9 mg a la variedad Salinas la cual produjo 12.1 mg/100g.

Con respecto al elemento nutricional hierro el mayor contenido se obtuvo con la variedad Romana que produjo 1.9 mg/100g ; superando en 0.9 mg a las otras tres variedades evaluadas.

Después de comparar el contenido de elementos nutricionales de calcio, fósforo y hierro que son los elementos más importantes que aporta la lechuga para la nutrición humana se determinó que la variedad Grand Rapids fue la que produjo el mayor contenido de calcio y fósforo, pero no de hierro. La variedad con la cual se obtuvo la mayor cantidad de hierro fue la Romana.

Al comparar el contenido nutricional de las variedades producidas por el método hidropónico con las producidas por el método convencional, se encontró que la variedad Salinas producida por el método hidropónico produjo 30.4 mg más de calcio, comparado con la tabla de composición de alimentos del INCAP que fue de 16 mg /100g; esto indica que es mucho mejor producir lechugas utilizando el método hidropónico de producción.

En lo que respecta al elemento fósforo (P), la lechuga producida por el método hidropónico superó en 26.4 mg al contenido de este elemento expresado en la tabla del INCAP.

Al comparar la cantidad de hierro, las lechugas producida por el método hidropónico superó al dato de la tabla en 0.6 mg esto fue con respecto a la variedad Salinas.

La variedad de lechuga Romana producida por hidroponía supero en 15.6 mg al contenido de calcio (Ca), 12.4 mg más de fósforo (P) y 0.6 mg más de hierro (Fe) comparado con la tabla de composición de alimentos del INCAP.

La variedad Boston superó a la tabla de composición de alimentos del INCAP en 18 mg de calcio y 10 mg de fósforo. En lo que respecta al contenido de hierro el método de producción convencional expresado en la tabla superó a la variedad Boston en 0.3 mg.

También la variedad Gran Rapids superó al método convencional de producción expresado en la tabla de composición del INCAP en 32.6 mg de calcio y 18 mg de fósforo. En lo que respecta al contenido de hierro esta variedad produjo 0.3 mg menos que la tabla del INCAP.

El contenido nutricional de las variedades evaluadas por el método hidropónico así como el contenido nutricional por el método convencional expresado en la tabla de composición de alimentos del INCAP y sus diferencias están expresados en cuadro 15.

CUADRO 15. CONTENIDO NUTRICIONAL DE LAS VARIETADES DE LECHUGA EVALUADAS CON EL SISTEMA HIDROPONICO, TABLA DEL INCAP Y SUS DIFERENCIAS.

VARIEDAD	SISTEMA HIDROPÓNICO						TABLAS INCAP CULTIVO CONVENCIONAL			DIFERENCIAS		
	Mg/100gr						mg/100gr.			mg/100gr		
Elementos	Ca	P	K	Mg	Na	Fe	Ca	P	Fe	Ca	P	Fe
Salinas	46.4	49.4	4.6	44.8	12.1	1.0	16	23	0.4	+30.4	+26.4	+0.6
Romana	58.6	46.4	4.4	55.0	17.4	1.9	43	34	1.3	+15.6	+12.4	+0.6
Boston	61.0	44.0	4.2	37.0	15.5	1.0	43	34	1.3	+18.0	+10.0	-0.3
Grand Rapids	75.6	52.0	4.6	31.0	20	1.0	43	34	1.3	+32.6	+18.0	-0.3

Referencias:

- + Significa que la diferencia entre la variedad cultivada en cultivo hidropónico posee mayor contenido de nutriente que la comparación de la tabla de composición de alimentos del INCAP.
- Significa que la variedad producida en cultivo hidropónico posee menor contenido nutricional que el de la tabla de composición de alimentos del INCAP.

8.3 Costos de producción

El sistema hidropónico utilizado para esta investigación consistió en contenedores de madera y sustrato sólido.

Se llevó un registro del costo de los materiales utilizados en la implementación y costos de operación del sistema para la producción de las cuatro variedades.

La preparación y operación de los 36 contenedores hidropónicos con sustrato sólido tuvo un valor de Q 1,598.50; lo cual dio un costo total por unidad de contenedor de 0.774 m² de Q 44.39 y de Q 57.35 por metro cuadrado de producción.

En lo que respecta a los materiales como plástico de polietileno de color negro y amarillo así como las herramientas para fabricar los contenedores como martillo y serrucho, fueron proporcionados por la sección de operaciones del Programa de la Mujer Rural, al igual que el transporte de los materiales.

Por cada contenedor se sembraron 23 lechugas y existió un 5% de pérdidas por trasplante y adaptación, logrando cosechar un total de 787 lechugas por las cuatro variedades. Estas lechugas en el mercado tuvieron un precio de venta de Q 3.00 quetzales por unidad, lo que hizo un ingreso bruto de Q 2361.00 quetzales. De una forma más específica se determinó que el costo para producir una lechuga utilizando hidroponía fue de Q 2.00 quetzales, lo que luego de la venta dio un ingreso neto de Q 1.00 quetzal por lechuga cosechada.

Al realizar el cálculo de rentabilidad según la fórmula $R=IN/CT*100$ en donde R es rentabilidad, IN es ingreso neto, CT es costo total; en donde se obtuvo un valor de 50% lo cual nos indicó que por cada quetzal invertido se obtuvo Q 1.50 quetzales, logrando cubrir el costo de inversión más Q 0.50 quetzales de ganancia.

La rentabilidad fue aceptable ya que el período de producción fue corto (67 días) y además se utilizaron los recursos disponibles en la zona de estudio.

Para producir lechugas con el método hidropónico utilizado en esta investigación; si se tiene un área de 10 metros cuadrados, representa un costo de Q 573.00 quetzales lo cual incluye implementación y operación de la huerta hidropónica.

Las cantidades y costos de los materiales necesarios para la implementación y operación de la huerta hidropónica de la presente investigación se detallan en el cuadro 13.

CUADRO 16. COSTOS DE MATERIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE LA HUERTA HIDROPÓNICA DE 28 M².

CANTIDAD	MATERIALES	PRECIO UNITARIO (Q)	PRECIO TOTAL (Q)
28 gramos	Semilla de lechuga	12.00	48.00
20 quintales	Arena pómez	11.50	207.00
10 quintales	Cascarilla de arroz	3.85	77.00
16 litros	Solución Hidroponía	12.00	204.00
3400 gramos	Fosfato monoamónico, (NH ₄)H ₂ PO ₄		29.44
20800 gramos	Nitrato de calcio, Ca (NO ₃) ₂		63.42
11000 gramos	Nitrato de potasio, KNO ₃		52.04
310.5 gramos	Nitrato de magnesio, Mg(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O		36.04
123 gramos	Sulfato de magnesio, Mg(SO ₄) ₂ . 7H ₂ O		0.87
0.3 gramos	Sulfato de manganeso, Mn(SO ₄) ₂ . H ₂ O		1.02
0.120 gramos	Sulfato de cobre CuSO ₄ . 5H ₂ O		2.50
0.300 gramos	Sulfato de zinc, ZnSO ₄ . 7H ₂ O		4.02
0.005 gramos	Sulfato de cobalto, CoSO ₄ . 7 H ₂ O		2.10
1.550 gramos	Ácido bórico, BH ₂ O ₃		10.00
0.005 gramos	Molibdato de amonio (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O		3.00
4.00 gramos	Citrato de hierro amoniacal		1.55
30 unidades	Tarimas o palets	3.00	90.00
1 caja	Grapas de pared	15.00	15.00
33 Yardas	Plástico de polietileno negro	6.50	217.50
4 Yardas	Plástico de polietileno Amarillo	3.50	14.00
1	Tijera	9.00	9.00
14 Jornales	Mano de obra en implementación y operación	15.00	210.00
1	Recipiente de plástico de 50 litros	25.00	25.00
	Transporte y acarreos de materiales	200.00	200.00
8 Libras	Clavos de 2 pulgadas	3.00	24.00
3	Jeringas para medir nutrientes de 12cc	1.50	3.00
1	Serrucho	25	25.00
1	Martillo	20	20.00
Costo total para producir los 28 metros de la huerta hidropónica			Q 1695.50

9. CONCLUSIONES

1. El mayor rendimiento en peso fresco de las variedades de lechugas se obtuvo con la variedad Salinas, la cual produjo un peso fresco medio de 5.43 kilogramos por unidad experimental de 0.774 m^2
2. El mayor crecimiento expresado como incremento en peso seco fue logrado con la producción de la variedad Grand Rapids que presentó la ecuación $Y=0.1102X^{3.5225}$ donde Y representa el peso seco en gramos y X son los días después del trasplante; le siguió en su orden descendente las variedades Salinas, Romana y Boston respectivamente.
3. Después analizar las cuatro variedades evaluadas se llegó a determinar que no presentaron diferencia significativa respecto a la apariencia física de la lechuga.
4. De las cuatro variedades evaluadas no existió una que presentará mayor precocidad a la producción, ya que todas tuvieron en periodo de producción de 67 días.
5. La variedad de lechuga Grand Rapids produjo el mayor contenido de calcio, fósforo, potasio y sodio, produciendo 75.6 mg de calcio, 52 mg de fósforo, 4.6 mg de potasio, y 20 mg de sodio por cada 100 gramos de tejido.
6. El mayor contenido de magnesio y hierro fue producido con la variedad de lechuga Romana.
7. El contenido de calcio, fósforo y hierro de las lechugas producidas por el método hidropónico superó a los datos expresados en la tabla de composición de alimentos del INCAP utilizando el método tradicional de producción en 32.6 mg de calcio, 10 mg de fósforo, y 0.6 mg de hierro por cada 100 gramos de tejido, a excepción de las variedades Grand Rapids y Boston que sí fueron superadas en 0.3 mg de hierro por la tabla de composición.
8. El costo total fue de Q 1598.50 para producir 787 lechugas de las cuatro variedades evaluadas; el costo incluyó la instalación y operación del sistema.

10. RECOMENDACIONES

Con el fin de lograr un mayor rendimiento en peso fresco con el sistema hidropónico de producción se es recomendable producir lechugas de la variedad Salinas.

Realizar investigaciones futuras donde se evalúe el rendimiento utilizando híbridos en el método de cultivo hidropónico de sustrato sólido

Conociendo el contenido nutricional con el método de hidroponía se sugiere producir lechugas de la variedad Grand Rapids que fue la que produjo un alto contenido de la mayoría de elementos nutricionales y a demás es la variedad de lechuga que prefiere el ama de casa.

Si la finalidad de producción es obtener lechugas con un alto contenido de hierro se recomienda producir lechugas de la variedad Romana.

Establecer costos de producción utilizando diferentes tipos de contenedores con el fin de utilizar los recursos disponibles y encontrar la máxima rentabilidad en la producción de lechugas utilizando el sistema hidropónico de producción .

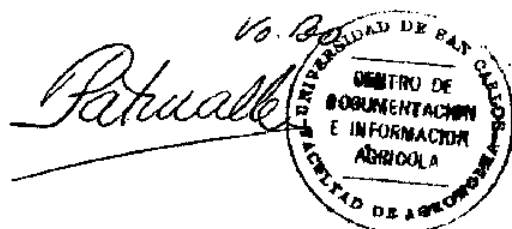
Con el fin de dar un enfoque más comercial se recomienda realizar investigaciones con una infraestructura como invernaderos a fin de poder conocer los costos de producción por metro cuadrado y su comportamiento.

Realizar investigaciones donde se tengan varios ciclos del cultivo con el fin de encontrar una mayor rentabilidad por metro cuadrado o por hectárea.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. BACA, G. A. 1991. Efecto de la solución nutritiva, en el riego, el sustrato y la densidad de siembra en tres cultivos hortícola en hidroponía al aire libre II. Melón y tomate. *Rev. Agrociencia (Mex.)* no. 35-38:2-4
2. BARCELO, C. J. 1980. *Fisiología vegetal*. España, Ed. Pirámide. 118p
3. CASTAÑEDA, F. R. 1997. *Diseño y evaluación de un sistema de cultivo hidropónico para la producción de hortalizas a nivel domestico*. Tesis Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 109p.
4. COLEGIO J.N. (Arg). 1998. Bialik. B.A. Argentina. (E-Mail ebotob@einstein.com.Ar.)
5. DUCKWORTH, R. B. F. 1996. *Fruit and vegetables*. Oxford, Pergamor Press. 306p
6. INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR. SUBDIRECCIÓN DE NUTRICIÓN, REDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALIMENTOS. 1,992 *Tabla de composición de alimentos Colombianos*. 6 ed. Colombia. 53p.
7. INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA. 1986. *Tabla de composición de Alimentos para uso en América Latina*. Guatemala. 144p.
8. KRAMER, R. A. 1965. *Evaluation of quality of fruitd and vegetables*. Washington, D.C., EE.UU., Ed. Food Quality. p. 9-18
9. MARULANDA, C. H. 1,992. *La huerta hidropónica popular, curso audiovisual*. Santiago, Chile, OEA/PNUD. 118p.
10. ----- 1998. *Huerta hidropónica*. San Salvador. (E . MAIL: Cesar. h. marulanda@ undp.org PNUD. San Salvador)

11. MORALES, M. A. 1992. Efecto de cinco frecuencias sobre el rendimiento y evapotranspiración del cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) en el valle central de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 82p.
12. PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y FOMENTO MUNICIPAL. 1,997. Hidroponía popular, cultivos sin tierra, guía práctica. Nicaragua. 42p.
13. ———. 1,997. Hidroponía popular, cultivos sin tierra, guía técnica. Nicaragua. 36p
14. SANCHEZ, F.; ORTEGA, C. 1980. Estudio de un sistema de producción agrícola. Rev. Chapingo. (Mex.) no. 25-26 : 9
15. ———; ESCALANTE, E. R. 1981. Hidroponía. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 176 p.
16. SANCHEZ, A.; SANCHEZ, F. 1981. Estudio preliminar de la técnica de producción intensiva de forraje en hidroponía. Rev. Chapingo. (Mex.) no. 27-28 : 68-74
17. SANZ, M. 1993. Guía práctica de cultivos hidropónicos; quelatos y bioestimulantes. Santiago de Chile, Ed. Minks. 67p
18. TWICC, B. 1,962. Fundamentals of the quality control for the food industry. London, Mack Printing Company. 512p.
19. VALLEJO, J.; FERNANDEZ, R. 1978. Determinación del uso consultivo, lamina de riego e intervalo de riego en hidroponía, para cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*). Rev. Chapingo. (Mex.) no. 11-12 : 40-45.
20. VENEZUELA. MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL, INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICION. 1991. Tabla de composición de alimentos para uso práctico. Caracas, Venezuela. 5p.



APENDICE

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA.

PROCEDIMIENTO:

1. en un crisol de porcelana pesar aproximadamente 1 g de muestra.
2. colocar las muestras en la mufla y llevar a cenizas a una temperatura de 550 °C durante 16 horas aproximadamente.
3. dejar enfriar la mufla y posteriormente sacar las muestras.
4. si las muestras después de la calcinación presentan excesiva cantidad de carbón se procederá al blanqueo de las mismas mediante el procedimiento que se describe en el inciso A.
5. si las cenizas son blancas disolver las cenizas de la siguiente forma:
 - 5.1 al crisol que contiene las muestras de cenizas agregar 5ml de ácido clorhídrico 6 N y secarlo en baño de María.
 - 5.2 Agregar 2 ml de ácido clorhídrico 6 N y mantener en baño de María por cinco minutos.
 - 5.3 Trasvasar en forma cuantitativa la solución a un balón de 25 ml utilizando agua bidestilada.
 - 5.4 Agregar lantano al 10% en una relación de 1:100 (0.25 ml para un balón de 25 ml).
 - 5.5 Aforar con agua bidestilada.
 - 5.6 Leer el espectrofotómetro

A. Blanqueo de las cenizas:

1. humedecer toda la ceniza con unas gotas de agua bidestilada y agregar 0.5 – 1 ml de ácido nítrico concentrado.
2. evaporar a sequedad en baño de María y volver a colocar la muestra en la mufla a una temperatura de 550 °C por 2 horas. Si es necesario repetir el tratamiento con ácido nítrico y la calcinación para obtener cenizas libres de carbón. Se recomienda repetir el tratamiento no mas de tres veces.
3. disolver las cenizas según el inciso 5.1

REACTIVOS:

1. Agua bidestilada
2. ácido clorhídrico 6 N
3. Ácido nítrico concentrado
4. estándar de calcio ug/ml
5. solución de cloruro de lantano

EQUIPO Y CRISTALERÍA

1. Espectrofotómetro de absorción atómica equipado con aire – acetileno
2. Crisoles de porcelana
3. Mufla
4. Balones volumétricos de 25 ml.
5. Pipetas Pasteur
6. Varillas de vidrio
7. pipeta graduada de 5 ml o pipeta volumétrica de 10 ml.
8. balanza analítica
9. Baño de María
10. Termómetro.

CUADRO 17. PESO FRESCO DE LECHUGA EN KILOGRAMOS POR UNIDAD EXPERIMENTAL DE 0.774 m²

TRATAMIENTO	BLOQUES								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	Yi.	Yi..
SALINAS	5.11	6.53	5.68	4.60	4.38	5.45	6.25	38.0	5.4285
BOSTON	2.84	2.95	2.44	3.01	3.13	3.30	3.58	21.25	3.0357
ROMANA	3.47	3.86	4.02	3.41	3.86	5.28	4.26	28.16	4.0228
GRAND RAPIDS	3.64	3.97	4.04	3.35	3.18	3.57	4.10	25.85	3.6928
Y.j	15.06	17.31	16.18	14.37	14.55	17.6	18.19	113.26	

CUADRO 18. MATRIZ DE DIFERENCIAS DE LAS MEDIAS DE RENDIMIENTO EN PESO FRESCO DE LECHUGA Lactuca sativa.

	SALINAS	ROMANA	GRAND RAPIDS	BOSTON
	5.4285	4.0228	3.6928	3.0357
3.0357	2.3928**	0.9871**	0.6571**	NS
3.6928	1.7357**	0.33NS	NS	
4.0228	1.4057**	NS		
5.4285	NS			

REFERENCIAS:

** Significa que existe diferencia significativa ya que las diferencias de las medias es mayor que el Comparador Tukey.

NS No existe diferencia significativa.

Comparador Tukey:

W= 0.6514

CUADRO 19. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TUKEY.

SALINAS	5.4285	a		
ROMANA	4.0228		b	
GRAND RAPIDS	3.6928		b	
BOSTON	3.0357			c

REFERENCIA: tratamientos con la misma letra representan similar rendimiento

CUADO 20. PESO SECO TOTAL PROMEDIO DE LOS MUESTREOS REALIZADOS

REPETICION NUMERO CUATRO DEL EXPERIMENTO					
VARIEDAD	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
SALINAS	0.1475	2.73	8.255	16.205	24.175
BOSTON	0.1225	3.455	5.95	12.40	20.8825
ROMANA	0.09	1.5875	7.1175	12.825	23.3625
GRAND RAPIDS	0.0875	3.0175	6.63	12.5225	23.6875
REPETICION NUMERO SEIS DEL EXPERIMENTO					
SALINAS	0.095	1.5675	5.3025	11.5925	22.325
BOSTON	0.1725	3.135	6.89	13.7125	23.5875
ROMANA	0.1075	3.44	8.045	15.7425	26.8475
GRAND RAPIDS	0.1975	2.105	5.8125	11.8725	21.865



Ref. sem.017-2000

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA
(Lactuca sativa L.) EN CULTIVO HIDROPONICO, UTILIZANDO COMO
SUSTRATO ARENA Y CASCARILLA DE ARROZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MELGIN CONRADO BAUTISTA ROMERO

CARNET No: 9014422

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. José Jesús Chonay Pantzay
Ing. Agr. Roderico Estrada Muy
Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León
Inga. Agra. Myrna Ethel Herrera Sosa

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
A S E S O R


Ing. Agr. M.Sc. Domingo Amador Pérez
A S E S O R


Dr. Luis Mejía de León
Director a.i. del IIA



I M P R I M A S E


Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
D E C A N O



cc: Control Académico
IIIA.
Archivo
LM/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01001 GUATEMALA, G.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: liusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>