

Universidad Rafael Landívar
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Campus Central

**Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico
(Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del
cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Compositae)
en hidroponía.**

Edgar Rolando García Villavicencio

Guatemala, abril de 2,007

Universidad Rafael Landívar
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Campus Central

**Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico
(Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del
cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Compositae)
en hidroponía.**

T E S I S

Presentada al Honorable Consejo de la Facultad de Ciencias
Ambientales y Agrícolas de la
Universidad Rafael Landívar

Por:

Edgar Rolando García Villavicencio

Previo a conferírsele el título de

Ingeniero Agrónomo

En el grado académico de

**Licenciatura en Ciencias
Ambientales y Agrícolas**

Guatemala, abril de 2,007

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTORA:	Licda. Julia Guillermina Herrera Peña
VICERRECTOR GENERAL:	Ing. Jaime Arturo Carrera Cruz
VICERRECTOR ACADEMICO:	Lic. Rolando Enrique Alvarado López, S.J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	Lic. José Alejandro Arévalo Alburéz
SECRETARIO GENERAL:	Dr. Larry Amilcar Andradre Abularach

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	PhD. Charles Malcolm MacVean Ainslie
VICEDECANO	Lic. MSc. Francois Herrera Jacquelin
SECREARIO:	Ing. M.A. Julio César Catalán Ramírez
REPRESENTANTE DE CATEDRÁTICOS:	Ing. Gustavo Adolfo Méndez Gómez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Ing. Agr. Roberto Yurrita

Ingra. Agr. Mayra del Cid

Ing. Agr. Luis Calderón

Guatemala, 24 de abril de 2,007

**HONORABLES MIEMBROS DEL CONSEJO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
CAMPUS CENTRAL**

Respetables Miembros del Consejo:

Atentamente me dirijo a ustedes, para manifestarles que he finalizado la asesoría del trabajo de investigación titulado:

Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Compositae) en hidroponía.

Desarrollado por el estudiante Edgar Rolando García Villavicencio, como tesis de grado para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas y Ambientales con énfasis en Gerencia.

Considero que este trabajo llena todos los requisitos que Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas solicita y a la vez genera nuevas inquietudes para mejorar la producción hortícola del país.

Sin otro particular.

**Ing. Agr. Francisco Eduardo Calderón Villatoro
Colegiado No. 1477
Asesor de tesis.**

Guatemala, 24 de abril de 2,007

**HONORABLES MIEMBROS DEL CONSEJO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
CAMPUS CENTRAL**

Respetables Miembros del Consejo:

Siguiendo las normas requeridas por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas de la Universidad Rafael Landívar, tengo el honor de someter a consideración el presente trabajo de tesis titulado:

Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* Compositae) en hidroponía.

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas y Ambientales con énfasis en Gerencia.

Sin otro particular y a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente.

**Edgar Rolando García Villavicencio
Carné No. 1153001**

DEDICATORIA

A:

Dios: Por su bondad, sabiduría, amor y dirección en cada etapa de mi vida.

A mis Padres:

Felipe García Alegría y
Amalia Villavicencio de García
Por enseñarme a cultivar la humildad y la perseverancia, por su apoyo incondicional y por su ejemplo.

A mi hermana:

Mónica García
Por su apoyo y motivación.

A mis compañeros:

Astri Soto
Noé Morales y
Juan Carlos Donado
Como muestra de la amistad obtenida.

A:

Familia Hernández Sáez
Por el apoyo, los consejos y la amistad brindada.

AGRADECIMIENTO

A DIOS: Por las bendiciones concedidas a lo largo de mi vida.

A MI ASESOR: Ing. Agr. Eduardo Calderón
Por su valiosa asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

A: Ingra. Mayra del Cid
Por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

A: Ingra. Maria Antonieta Alfaro
Por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

A: Ing. Agr. Sergio Mazariegos
Por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

A: Ing. Alejandro de la Vega
Por su valiosa colaboración para el logro de la presente investigación.

ÍNDICE

Contenido	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	02
II.1. HIDROPONÍA	02
II.1.1. Definición	02
II.1.2. Historia	02
II.1.3. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico.....	03
II.1.3.1. Ventajas	03
II.1.3.2. Desventajas	05
II.1.4. Sistemas hidropónicos	05
II.1.4.1. Sistemas Hidropónicos con agregados o sustratos.....	05
II.1.4.1.A. Sistemas de sustrato sólido	06
II.1.4.1.B. Sistemas de columnas	06
II.1.4.1.C. Riego por goteo	06
II.1.4.2. Sistemas hidropónicos en agua	07
II.1.4.2.A. Recirculante o NFT	07
II.1.4.2.B. Aeropónico	07
II.1.4.2.C. Raíz flotante	07
II.1.5. Soluciones nutritivas	08
II.1.5.1. Composición de las soluciones nutritivas	09
II.1.5.2. Formulación de la solución nutritiva	09
II.1.5.3. Análisis químico del agua y corrección de la formulación.	10
II.1.5.4 Manejo de la solución nutritiva	10
II.1.5.4.1. Conductividad eléctrica	10
II.1.5.4.2. pH	11
II.1.5.4.3. Aireación y mantenimiento de los contenedores	11
II.1.5.4.4. Duración y renovación de la solución nutritiva	11
II.2. ABONOS ORGÁNICOS	12
II.2.1. Importancia	12
II.2.2. Tipos de abonos orgánicos	12
II.2.2.1. Enmiendas húmicas	12
II.2.2.2. El compost	13
II.2.2.3. El abono verde	13
II.2.2.4. El mulch	13
II.2.2.5. El purín	13
II.2.2.6. Los bioles	14
II.2.2.7. Bokashi	14
II.2.2.8. Vermicompost o lombricompost	14
II.2.2.9. Soluciones nutritiva de origen orgánico	15
II.2.2.9.A. Antecedentes	15

II.3. LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i>)	16
II.3.1. Descripción de la lechuga	16
II.3.2. Datos generales	16
II.3.3. Descripción botánica	16
II.3.4. Origen	17
II.3.4. Requerimientos del cultivo	17
II.3.4.1. Suelo	17
II.3.4.2. Clima	17
II.3.4.3. Fertilización	17
II.3.5. Particularidades del cultivo	18
II.3.5.1. Siembra	18
II.3.5.2. Preparación del terreno	18
II.3.5.3. Transplante	18
II.3.5.4. Plagas	19
II.3.5.5. Enfermedades	19
II.3.5.6. Control de malezas	19
II.3.5.7. Cosecha	19
II.3.6. Cultivo de lechuga en hidroponía	19
II.3.6.1. Requerimientos del cultivo en hidroponía	19
II.3.7. Variedades de lechuga romana	20
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
III.1. OBJETIVOS	22
III.1.1. General:	22
III.1.2. Específicos	22
III.2. HIPÓTESIS	22
III.2.1 Hipótesis alternativa	22
III.2.2 Hipótesis nula	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
IV.1. Descripción del área experimental	22
IV.1.1. Localización del área de trabajo	22
IV.1.2. Características climáticas	23
IV.2. Material experimental	23
IV.2.1. Lechuga	23
IV.2.2. Sistema de producción	23
IV.2.2.1. Materiales y equipo	23
IV.2.2.1.1. Piletas	23
IV.2.2.1.2. Estructuras de separación	23
IV.2.2.1.3. Estructura de sostén	23
IV.3. Tratamientos de estudio	23
IV.3.1. Solución nutritiva a partir de lombricompost	23
IV.3.2. Solución nutritiva a partir de bokashi	24
IV.3.3. Solución nutritiva comercial (Testigo)	24

IV.4. Equipo técnico	24
IV.4.1. Fertilización y fumigación	24
IV.4.2. Aireación	24
IV.4.3. Equipo de laboratorio	24
IV.5. Descripción de los tratamientos	25
IV.6. Metodología experimental	25
IV.6.1. Diseño	25
IV.6.2. Modelo lineal	25
IV.7. Unidad experimental	26
IV.8. Croquis de campo y distribución aleatoria de los tratamientos.....	26
IV. 9. Variables de respuesta	26
IV.9.1. Determinación del contenido nutricional de las S. nutritivas	26
IV.9.2. Rendimiento	26
IV.9.3 Calidad del producto	26
IV.9.4. Análisis de la información	27
IV.9.4.1. Análisis estadístico	27
IV.9.4.1. Análisis económico	27
IV.10. Manejo del experimento	27
IV.10.1. Duración	27
IV.10.2. Preparación de la solución nutritiva	28
IV.10.2.1. Solución testigo A y B	28
IV.10.2.2. Solución nutritiva de bokashi	28
IV.10.2.3. Solución nutritiva de lombricompost	29
IV.10.3. Preparación de las piletas	29
IV.10.3.1. Limpieza	29
IV.10.3.2. Transplante	29
IV.10.3.3. Aireación de las raíces	29
IV.11. Cronograma de trabajo	29
 V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 30
V.1. Elaboración de soluciones nutritivas a partir de los abonos orgánicos tipo bokashi y lombricompost	30
V.1.1. Elaboración de la solución nutritiva a partir del abono orgánicos tipo bokashi	30
V.1.2. Elaboración de la solución nutritiva a partir del abono orgánicos tipo lombricompost	30
V. 2. Implementación de las soluciones nutritivas de origen orgánico en el cultivo hidropónico de lechuga frente al testigo	30
V.2.1. Implementación de la solución nutritiva de bokashi	30
V.2.2. Implementación de la solución nutritiva de lombricompost	31
V.3. Contenido nutricional y características químicas de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost	31

V.3.1. Contenido nutricional de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost	31
V.3.2. Características químicas de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost	32
V.4. Efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento y la calidad de lechuga en un sistema hidropónico	34
V.4.1. Efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento de lechuga en un sistema hidropónico	34
V.4.2. Efecto de las soluciones nutritivas sobre la calidad de la lechuga en un sistema hidropónico	35
V.5. Análisis Económico	37
VI. CONCLUSIONES	39
VII. RECOMENDACIONES	40
VIII. BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable	04
Cuadro 2	Desventajas del cultivo hidropónico	05
Cuadro 3	Categoría de los elementos según el requerimiento de las plantas	09
Cuadro 4	Composición del humus de lombriz	15
Cuadro 5	Densidad de plantación de la lechuga	18
Cuadro 6	Variedades de lechuga Romana	20
Cuadro 7	Materiales utilizados para la preparación del bokashi usado en la investigación	24
Cuadro 8	Descripción de los tratamientos evaluados	25
Cuadro 9	Distribución aleatoria de los tratamientos	26
Cuadro 10	Comparación de características para determinar la calidad del cultivo de lechuga	27
Cuadro 11	Elementos necesarios para preparar la solución A y B	28
Cuadro 12	Resultado del análisis químico de las soluciones nutritivas de origen orgánico evaluadas	31
Cuadro 13	Concentración adecuada para una solución nutritiva concentrada	31
Cuadro 14	Características químicas de soluciones nutritivas de origen orgánico según	32
Cuadro 15	Cantidad de elementos contenidos en las soluciones nutritivas evaluadas	32
Cuadro 16	Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de lechuga en kg/m ²	34
Cuadro 17	Categorías de calidad del producto obtenido de los tratamientos evaluados, de acuerdo a las normas comunes de calidad establecidas por Bernard (1967)	36
Cuadro 19	Análisis económico para diferentes tratamientos de soluciones nutritivas de origen orgánico y la solución nutritiva testigo	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Unidad experimental	26
Figura 2. Antagonismo y sinergismo entre elementos	33
Figura 3. Efecto de las soluciones nutritivas sobre en el cultivo hidropónico de lechuga	34
Figura 4. Gráfica para el análisis de rentabilidad	37

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	45
1. Croquis de campo	45
2. Cronograma de actividades	46
3. Resultado del análisis químico de las soluciones nutritivas de origen orgánico evaluadas	47
4. Análisis estadístico	48
5. Análisis económico	49
5.1 Datos para el análisis económico	50
5.2 Costos de producción obtenidos para el experimento	51
5.2.1. Costos para la preparación de las soluciones nutritivas	51
5.2.2. Cantidad de solución nutritiva concentrada utilizada	52
5.3. Inversión inicial para el desarrollo del experimento	53

Efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Lombricompost y Bokashi) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* Compositae) en hidroponía.

RESUMEN

Este estudio se realizó para evaluar el efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico obtenidas a partir de los abonos tipo lombricompost y bokashi, sobre el rendimiento y la calidad del cultivo de lechuga variedad romana en el sistema hidropónico de raíz flotante.

La investigación se realizó en la terraza de una vivienda ubicada en ciudad de Guatemala y se manejó con el diseño experimental de bloques al azar. Se desarrolló el manejo cultural recomendado para el cultivo y se evaluó el efecto de las soluciones con los tratamientos siguientes: a. Solución nutritiva de Lombricompost con una conductividad eléctrica (CE) de 1000 siemens/cm, b. Solución nutritiva de Lombricompost con una CE de 1400 siemens/cm, c. Solución nutritiva de Lombricompost con una CE de 1800 siemens/cm, d. Solución nutritiva de Bokashi con una CE de 1000 siemens/cm, e. Solución nutritiva de Bokashi con una CE de 1400 siemens/cm, f. Solución nutritiva de Bokashi con una CE de 1800 siemens/cm, g. Solución Testigo obtenida a partir de fertilizantes químicos. Dando como resultado siete tratamientos, tres repeticiones y veintiún unidades experimentales.

Las variables de respuesta expresadas en el rendimiento y la calidad del cultivo demostraron que ningún tratamiento de origen orgánico sobrepasó o igualó al testigo de origen químico. El mejor tratamiento de origen orgánico fue la aplicación de la solución de lombricompost con una CE de 1800 siemens/cm, con un rendimiento de 3.83 kg/m² de lechuga.

Effect of two organic (worm compost and Bokashi) nutritional solutions on the yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* Compositae) in hydroponics.

SUMMARY

This study was carried out to evaluate the effect of two organic nutritional solutions derived from manures such as worm compost and bokashi on the yield and quality of roman lettuce in the root floating hydroponic system.

Research was carried out on the roof of a house located in the city of Guatemala, using a randomized experimental block design. The cultural management recommended for the crop was used, evaluating the effect of the solutions with the following treatments: a. Worm compost nutritional solution with an electrical conductivity (EC) of 1000 siemens/cm, b. Worm compost nutritional solution with EC of 1400 siemens/cm, c. Worm compost nutritional solution with EC of 1800 siemens/cm, d. Bokashi nutritional solution with EC of 1000 siemens/cm, e. Bokashi nutritional solution with EC of 1400 siemens/cm, f. Bokashi nutritional solution with EC of 1800 siemens/cm, g. Check, using chemical fertilizers; as a result, there were seven treatments, three replicates and twenty-one experimental units.

The response variables shown in the crop's yield and quality demonstrated that none of the organic treatments surpassed or were equal to the chemical check. The best organic treatment was the use of worm compost solution with EC of 1800 siemens/cm, with a yield of 3.83 kg/m² of lettuce.

I. INTRODUCCIÓN

Según Puppi y Ramírez (2001), la agricultura orgánica ha generado en los últimos diez años una verdadera revolución productiva que va desde la creación de marcos legales en muchos países, hasta el desarrollo de empresas productoras, comercializadoras y de servicios. A debe agregarse la creciente actividad en materia de investigación y desarrollo de productos, procesos y sistemas que surgen de la necesidad de producir de acuerdo a normas impuestos por el propio consumidor a través de agencias de certificación en cada país productor. El desarrollo del mercado de los productos orgánicos se debe en parte a una desconfianza cada vez mayor respecto de los alimentos producidos convencionalmente después de una serie de escándalos sobre alimentos con dioxinas, aftosa y el uso de organismos genéticamente modificados, preocupaciones ambientales y la convicción entre el público de que los alimentos orgánicos pueden tener mejores características en lo que se refiere al sabor y calidad nutricional (Chávez, Chávez y Anna, 2001).

La demanda de alimentos y fibras producidas orgánicamente brinda nuevas oportunidades de mercado a los agricultores y empresas en todo el mundo. También plantea nuevos desafíos en el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción orgánica ante la llamada “revolución verde”, misma que trajo consigo un aumento en la producción mundial de alimentos, pero a su vez, produjo un crecimiento inesperado de la contaminación de aguas, suelos y aire, y produjo residuos químicos en alimentos de origen animal y vegetal, efectos que fueron sin duda el impulso de la agricultura orgánica (Puppi y Ramírez, 2001).

Según Soto (2003), los proyectos de inversión para el desarrollo agrícola son una fuente importante de recursos que promueven el desarrollo económico y social. Estos proyectos son un vehículo para la movilización de inversiones en diversos campos como riego, investigación, infraestructura rural, generación y difusión de tecnología, orientadas a la conservación de los recursos naturales y al establecimiento de políticas que buscan aumentar la productividad y mejorar la competitividad de las actividades productivas.

Ante la necesidad de producir vegetales orgánicos de alta calidad, resulta necesario el uso de sistemas de producción agrícola que estén orientados a mantener la productividad, conservando el medio ambiente, manteniendo la calidad y el valor de los alimentos con alto grado de inocuidad, objetivo que se puede alcanzar a través de la implementación de sistemas de producción en hidroponía. (Caldeyro, 2003).

Una hortaliza hidropónica es cultivada sin suelo y los nutrientes son suministrados a través de sales o fertilizantes químicos que se agregan al agua en cantidades adecuadas. Esta agua con nutrientes se llama solución nutritiva y es la que proporciona todos los elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado de la planta (Chávez, et al., 2001).

Con la producción e implementación de soluciones nutritivas de origen orgánico, se pretende ofrecer un sistema de producción agrícola que permita la producción de diversos cultivos, especialmente hortalizas, en espacios no utilizados, con el fin de dar una opción que permita diversificar la oferta de productos orgánicos, a través del aprovechamiento de todos los recursos locales por medio de un sistema viable y funcional.

Las soluciones nutritivas de origen orgánico, son productos que el agricultor puede utilizar fácilmente en su finca con metodologías adaptables y materia prima obtenida en la misma producción agrícola, con lo que se reducen los costos ocasionados por adquisición de fertilizantes comerciales, así como los daños que éstos pueden provocar a la salud del productor y al ambiente.

Con el fin de encontrar la mejor alternativa para la producción orgánica de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) en hidroponía, se llevó a cabo este proyecto en donde se utilizaron soluciones nutritivas de origen orgánico, elaboradas a partir de bokashi y lombricompost, utilizados en el proyecto al ser considerados como los mejores abonos orgánicos producidos en las fincas.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. HIDROPONÍA

II.1.1. Definición

La palabra hidroponía proviene del griego *Hydro* que significa agua y *Ponos* que significa labor, trabajo o esfuerzo; traducido literalmente significaría trabajo en agua. El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua lo define como el cultivo de plantas en soluciones acuosas. Sin embargo, actualmente la palabra involucra todas aquellas formas en que se cultivan plantas con algún soporte como arena, grava o carbón o cualquier sustrato que no sea suelo, en donde las plantas son alimentadas mediante una solución de nutrimentos minerales o sales minerales que se les suministra por medio del agua de riego. Es una técnica alternativa y relativamente nueva en nuestro medio para producir cultivos saludables. Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional, mejor sabor y calidad del producto, mayor homogeneidad y producción (Guzmán, 2004).

Según Rodríguez (2001), en algunos casos, el término hidroponía es usado sólo para describir sistemas basados en agua, pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo. Por lo tanto, un sistema hidropónico o cultivo sin suelo, es un sistema aislado del suelo utilizado para cultivar diversos tipos de plantas de importancia económica. El crecimiento de las plantas es posible por un suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua o solución nutritiva. Entre los sistemas agro-urbanos, destacan los hidropónicos por ofrecer un mayor potencial para atenuar la inseguridad alimentaria y el empobrecimiento en las ciudades (Chávez, et al., 2001).

Según Guzmán (2004), la hidroponía también favorece un ahorro considerable en el uso del agua de riego en la época seca y es una técnica económica, eficiente y racional en cuanto a la aplicación de los nutrimentos minerales. Por otra parte, disminuyen los problemas relacionados con enfermedades de la raíz, lo que reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas y en su lugar se pueden utilizar sustancias orgánicas repelentes que le permiten al productor obtener cosechas de muy buena calidad y libres de residuos tóxicos; de esta forma la familia consumirá alimentos más frescos y sanos. Es importante resaltar en ese sentido la protección que también se le da al medio ambiente con el uso de esta técnica.

II.1.2. Historia

Se cree que los primeros cultivos hidropónicos de la historia fueron los jardines colgantes de Babilonia, porque se alimentaban del agua que corría por medio de canales. También se dice que hace más de 1000 años, se practicaba la hidroponía en forma empírica en China, la India y Egipto. La

chinampa mexicana es otra forma de aplicación de los principios hidropónicos; los aztecas cultivaban el maíz en barcasas por medio de un entramado de pajas (Guzmán, 2004).

Según Godoy (2001), la hidroponía es una técnica de producción que empezó a manifestarse en el mundo científico a partir del año 1930, debido a la publicación del trabajo experimental de Gericke en la Universidad de California.

Resh (1997), menciona que después de la segunda guerra mundial, los militares continuaron utilizando los cultivos hidropónicos; por ejemplo el ejército americano estableció un proyecto de 22 hectáreas en la Isla Chofú (Japón), expandiéndose los cultivos hidropónicos a escala comercial a través del mundo en los años 50, en países como Italia, España., Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia e Israel.

Las primeras investigaciones en nutrición vegetal demostraron que se podía conseguir un crecimiento normal de plantas, sumergiendo las raíces en una solución acuosa que contuviese sales de Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Potasio, Calcio y Magnesio, los cuales se definen en la actualidad como los macro y meso nutrientes, elementos necesitados en relativamente grandes y medianas cantidades (Resh, 1982).

Entre 1929 y 1930, el profesor de fisiología vegetal de la Universidad de California, Dr. William Gericke, logró un éxito sin precedentes al instalar unidades de cultivo sin tierra al aire libre con fines comerciales. Él bautiza a esta técnica como hidroponía y es considerado el padre de esta moderna técnica de cultivo. La aplicación de la técnica se ha dado muchas veces después de ese logro, especialmente después de la segunda guerra mundial; desde los japoneses durante esa época, hasta hoy en día con la alimentación de los astronautas por parte de la NASA.

Resh (1982), también menciona que con el desarrollo del plástico los cultivos hidropónicos dieron otro gran paso adelante. Los plásticos libraron a los agricultores de las costosas construcciones, unidas a las bancadas de hormigón y tanques utilizados anteriormente. El cultivo Hidropónico ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero, a los altamente especializados en submarinos atómicos para obtener verduras frescas para la tripulación, esto es una ciencia espacial, pero al mismo tiempo pueden ser utilizados en países subdesarrollados del tercer mundo para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas (Guzmán, 2004).

II.1.3. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico:

Los cultivos hidropónicos presentan distintas ventajas y desventajas que deben ser consideradas previo al uso de éste sistema.

II.1.3.1. Ventajas del cultivo sin suelo frente al tradicional en suelo arable

En el cuadro 1 se presentan las ventajas del cultivo sin suelo frente al cultivo tradicional en suelo arable.

Cuadro 1. Ventajas del cultivo sin suelo frente al cultivo tradicional en suelo arable.

FACTOR DE COMPARACIÓN	CULTIVO EN TIERRA	CULTIVO HIDROPÓNICO
Número de plantas	Limitado por la nutrición que puede brindar el suelo y la disponibilidad de luz.	Limitado solo por la iluminación, brinda mayor densidad de plantas iguales.
Preparación del suelo	Barbecho, rastra y surcado.	No existe preparación del suelo.
Control de malas hierbas	Gasto en herbicidas y labores culturales.	No existen malezas, por lo tanto no hay gasto.
Enfermedades del suelo	Gran número de nemátodos, hongos, bacterias, insectos del suelo que dañan la cosecha. Es necesaria la rotación de cultivos.	Enfermedades por hongos, no hay insectos pues no existe suelo. No es necesaria la rotación de cultivos.
Agua	Trastornos del cultivo por estrés hídrico dado por la relación agua-suelo, estructura del mismo y su capacidad de retención. Las aguas salinas no pueden ser utilizadas y existen muchas pérdidas del líquido por percolación y evaporación.	No existe stress hídrico, las operaciones se pueden automatizar mediante un detector de humedad. Los contenedores adecuados no permiten las pérdidas de agua.
Fertilizantes	Se aplican al voleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin distribución uniforme y considerando además considerables pérdidas por lavado, la cual alcanza en ocasiones del 50 al 80% Se puede utilizar fertirriego con mayor inversión por el sistema.	Se utilizan pequeñas cantidades y al estar distribuidos uniformemente (disueltos), permiten una absorción más homogénea por las raíces; además existe poca pérdida por lavado.
Nutrición	Muy variable; pueden aparecer deficiencias localizadas. A veces los nutrientes no son utilizados por la planta debido a la estructura del suelo o un pH inadecuado, del cual hay complicación para el muestreo y ajuste.	Hay un control completo y estable de nutrientes para todas las plantas, fácilmente disponible en cantidades precisas. Hay un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes.
Desbalance de nutrientes	Una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de algunos elementos en exceso, puede durar meses o años.	Este problema se soluciona en unos cuantos días.
Calidad del fruto	A menudo existe deficiencia de Calcio y Potasio, lo que da lugar a una escasa conservación.	El fruto es firme, con capacidad de conservación que permite a los agricultores cosechar la fruta madura y enviarla, a pesar de ello, a lugares distantes.
Esterilización del medio	Vapor, fumigantes químicos, trabajo intensivo, proceso largo al menos dos o tres semanas.	Vapor, fumigantes químicos con algunos de los sistemas. Con otros se emplea simplemente ácido clorhídrico o Hipoclorito Cálcico, con corto tiempo de esterilización.
Costos de producción	Uso obligatorio de mano de obra, en fertilización, fumigación, preparación del suelo, siembra, etc.	Las operaciones pueden automatizarse, con la consiguiente reducción de gastos, Además, no se usan implementos agrícolas.
Sustratos	Tierra	Diversos sustitos de reducido costo, así como materiales de desecho.
Mano de obra	Tener conocimientos y asistencia técnica.	No se necesita, solo a pequeña escala, mano de obra calificada.

Fuente: Chávez, et al (2001).

II.1.3.2. Desventajas del cultivo hidropónico:

El uso de cultivos hidropónicos presenta las siguientes desventajas:

Cuadro 2. Desventajas del cultivo hidropónico

FACTOR	DESVENTAJAS
Costos	* Elevados por inversión inicial
Conocimiento	* El desconocimiento del sistema hidropónico apropiado para producir un determinado cultivo. * Es muy importante tener o recibir capacitación previa. * El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos * El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo agronómico como clima apropiado para el cultivo, siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc. que del conocimiento de la técnica en sí.
Manejo y experiencia	* La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas puede alterar su composición y afectar la apariencia y calidad de las plantas.
Insumos	* Poca disponibilidad de oferta de las soluciones nutritivas.

Fuente: Resh (1997).

II.1.4. Sistemas hidropónicos

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados. Se debe considerar que no todo sistema es efectivo para todos los cultivos (Chávez, et al., 2001).

Según Rodríguez (2002), los sistemas hidropónicos se pueden dividir en sistemas hidropónicos con agregados o sustratos y en Sistemas hidropónicos en agua.

II.1.4.1. Sistemas hidropónicos con agregados o sustratos

Son los más extendidos desde un punto de vista comercial, usados por su funcionalidad ya que las raíces de las plantas crecen y se desarrollan en sustratos inertes; la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato y humedecen las raíces. El tipo de sustrato empleado puede ser muy variado, pero en general se busca que presente una alta capacidad de retención de agua, sin que ello limite la aireación de la raíz, con el fin de poder reducir el número de riegos y facilitar así el manejo del sistema. Del mismo modo resulta importante que presente una estructura estable y una baja velocidad de descomposición para que su vida útil sea la mayor posible (Cánovas, 1995).

Según Castañeda (1997), sustrato es todo material sólido que puede ser usado como reemplazo del suelo y sirve como medio de crecimiento de las plantas. La función principal del sustrato es permitir el anclaje de las raíces y el soporte mecánico de la planta. El crecimiento de la raíz en sustrato es más rápido y vigoroso que en suelo.

En principio no existe un sustrato ideal o único, porque se puede utilizar una gran diversidad de sustratos ya sea puros o en mezclas como: arena fina, media o gruesa, de cuarzo, de río, de construcción, etc. Un sustrato adecuado debe ser químicamente inerte, fácil de conseguir y de bajo costo, retentivo y que no se descomponga o degrade con facilidad

Según Chávez, et al. (2001), los sistemas hidropónicos con agregados o sustratos más utilizados son los sistemas de sustrato sólido, el cultivo en columnas y el riego por goteo.

II.1.4.1.A. Sistemas de sustrato sólido

Según Guzmán (2004), el sustrato es cualquier material sólido; sin embargo, el que sea utilizado debe poseer ciertas propiedades físicas, biológicas y químicas. Físicamente estable, que no experimente contracción o dilatación como respuesta a cambios climáticos y que sea lo más duradero posible. Biológicamente, que no albergue ningún organismo perjudicial como semillas de malezas, nematodos, hongos o bacterias, aunque se debe considerar que no existe ningún medio totalmente estéril. Químicamente, no debe presentar reacciones con las sales minerales que nutren a las plantas, por lo que se debe utilizar un sustrato con nula capacidad de intercambio catiónico, debe un pH constante y mínima velocidad de descomposición. En otras palabras la solución nutritiva no debe verse afectada por las características del material utilizado como sustrato.

II.1.4.1.B. Sistemas de columnas

Este sistema permite una alta producción de plantas por unidad de área, pero está restringido sólo para plantas de porte pequeño. Las plantas que crecen en un sistema de columnas deben estar bien iluminadas, de lo contrario tendrían una menor tasa fotosintética, afectando su rendimiento (Chávez, et al., 2001).

Resh (1997), menciona que para este tipo de sistema se utilizan sustratos livianos y con capacidad para retener agua, los cuales son colocados en bolsas plásticas de color negro o en tubos de PVC. El sustrato debe permitir un máximo crecimiento y desarrollo radicular, lo cual permitirá obtener una planta vigorosa.

Sobre cada columna, se colocan 4 goteros conectados a micro-tubos de 3 mm de diámetro, los cuales se colocan en diferentes puntos de la columna. Dos de los microtubos deben colocarse en la primera maceta superior. Cuando se enciende el sistema de riego, la solución nutritiva ingresa por cada micro-tubo, de tal forma que todo el sustrato se humedece por gravedad.

II.1.4.1.C. Riego por goteo

Según Chávez et al. (2001), es el sistema más usado a nivel mundial, principalmente con lana de roca. El área mundial destinada a la producción con lana de roca está en el orden del 57 %.

Resh (1997), menciona que la lana de roca es un sustrato obtenido por fusión de la roca, la cual luego es hilada en fibras y embolsada o precintada en bloques y planchas. Su principal característica es que contiene muchos espacios vacíos, alrededor del 97%, lo cual permite sostener niveles muy altos de agua disponible y también un buen contenido de aire. Es el principal medio usado en países donde lo fabrican. Debido al alto costo del flete para la importación de lana de roca, es preferible y aconsejable utilizar sustratos locales alternativos en países donde no se produce.

La piedra pómez es un sustrato natural excelente. La solución nutritiva es suministrada a cada planta a través de goteros conectados en mangueras de goteo de polietileno de color negro.

El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente en la zona radicular. El sistema es muy usado para la producción de cultivos de fruto como tomate, pimiento, melón, pepinillo y sandía.

II.1.4.2. Sistemas hidropónicos en agua

Son sistemas hidropónicos por excelencia, pues en ellos las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Entre éstos sistemas los más conocidos son el recirculante o NFT, el aeropónico y raíz flotante

II.1.4.2.A. Recirculante o NFT

Según Carrasco e Izquierdo (1996) el término NFT se refiere a las iniciales de Nutrient Film Technique y que traducido del inglés significa técnica de la película nutriente, o sistema de recirculación continua. El principio del sistema consiste en recircular continuamente la solución por una serie de canales de PVC de forma rectangular y de color blanco, llamados canales de cultivo. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas sostenidas por pequeños vasos plásticos. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución, luego la solución es recolectada y almacenada en un tanque. En el sistema hay una bomba eléctrica que funciona continuamente durante las 24 horas del día. Por los canales circula una película o lámina de apenas 3 a 5 ml de solución nutritiva. La recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para las plantas. El sistema es muy usado para cultivos de rápido crecimiento como la lechuga y albahaca.

II.1.4.2.B. Aeropónico

Según Mórigan (1999), en este sistema las plantas están creciendo sostenidas en agujeros en planchas de termopor (poliestireno expandido). El sistema aeropónico tiene la forma de un triángulo equilátero y sirve para producir cultivos de hojas de poca altura. Las raíces están suspendidas en el aire debajo de la plancha y encerradas en una cámara de aspersión. La cámara está sellada por lo que las raíces están en oscuridad y están saturadas de humedad. Un sistema de nebulización asperja periódicamente la solución nutritiva sobre las raíces. El sistema está normalmente encendido sólo unos cuantos segundos cada 2 a 3 minutos, tiempo suficiente para humedecer y oxigenar las raíces. Generalmente este sistema hidropónico se utiliza más para fines ornamentales o decorativos que para fines comerciales porque sus costos de operación son altos.

II.1.4.2.C. Raíz flotante

En este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utilizan láminas de “duroport” a las que se les perforan agujeros en donde se asientan las plantas y luego se ponen a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces. En este caso al contenedor no debe perforársele agujero de desagüe. Se puede decir que este sistema representa la verdadera hidroponía, ya que el trabajo se realiza en agua, a la que se le agregan los nutrimentos minerales (Guzmán, 2004).

Según Mórigan (1999), en éste sistema las raíces de las plantas están sumergidas parcialmente en solución nutritiva. La técnica mas utilizada bajo este sistema es la de Flujo Profundo (DFT, Deep Flow Technique), donde planchas de termopor o poliestireno expandido flotan sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de un compresor. La plancha actúa como soporte mecánico y cada una flota sosteniendo un determinado número de plantas. Este sistema ha sido adaptado para ser utilizado en proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, generalmente para cultivar hortalizas de hojas.

Para lograr una buena producción es muy importante airear la solución nutritiva; esto se puede hacer inyectando aire por medio de un compresor o en forma manual, utilizando un batidor plástico limpio, moviendo la solución por lo menos dos veces al día. Esta acción permite redistribuir los nutrientes y oxigenar la solución. La presencia de raíces de color oscuro es un indicador de una mala oxigenación y esto limita la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas.

II.1.5. Soluciones nutritivas

Una hortaliza hidropónica es cultivada por medio de un cultivo sin suelo y los nutrientes son suministrados a través de sales o fertilizantes químicos que se agregan al agua, diluyéndose en cantidades y concentraciones óptimas, a ésta combinación de agua y sales se le denomina solución nutritiva. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para hacer una inversión en materias primas para su preparación. Si las mismas estuvieran disponibles en el comercio, es preferible comprar las soluciones concentradas, ya que en este caso sólo es necesario disolverlas en un poco de agua para aplicarlas al cultivo (Chávez, et al., 2001).

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas.

Erston (1967), define a la solución nutritiva como una mezcla de sales en solución acuosa que contiene todo los elementos esenciales en concentraciones adecuadas. Las soluciones nutritivas pueden ser modificadas de acuerdo a los requerimientos específicos de cada planta, las raíces de plantas sensibles a la baja tensión de oxígeno necesitan una aireación continua en la solución.

Erston (1967), enumera algunos aspectos importantes:

- 1.- La solución debe contener buena provisión de elementos esenciales.
- 2.- Las soluciones deben tener la misma presión osmótica.
- 3.- Debe mantener un pH constante (de preferencia pH 6).
- 4.- Debe asegurarse que las raíces estén aireadas.
- 5.- Las soluciones deben cambiarse periódicamente para mantener constante la concentración.
- 6.- Si las sales tienden a cristalizar y se adhieren a los tallos de la planta, es necesario rociar los tallos de cuando en cuando con agua.
- 7.- Si las plantas crecen en líquido en vez de medio sólido, deben sostenerse con estacas u tutores.
- 8.- Otras condiciones para el crecimiento como la luz y temperatura deben ser adecuadas.

Moreno (1967), da algunas instrucciones para la preparación de las soluciones nutritivas, tales como tomar una serie de precauciones para evitar interferencias debido a las contaminaciones tanto de elementos minerales como de sustancias orgánicas y microorganismos.

La eficiencia de utilización de los nutrientes por las plantas depende del sistema hidropónico elegido. Al existir una circulación permanente de la solución nutritiva, la oferta de nutrientes en las raíces es constante. Además, la solución se formula de tal forma que suministre un nivel adecuado de todos los nutrientes, permitiendo así, un fácil manejo.

II.1.5.1. Composición de las soluciones nutritivas

Resh (1997) menciona que además de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua tales como carbono, hidrógeno y oxígeno, ellos consumen con diferentes grados de intensidad los siguientes elementos:

Cuadro 3. Categoría de los elementos según el requerimiento de las plantas.

Categoría	Requerimiento	Elementos
Macronutrientes	Indispensables para la vida de los vegetales, son requeridos en distintas cantidades por las plantas	N - P - K
Mesonutrientes	Indispensables en cantidades intermedias	S – Ca - Mg
Micronutrientes	Indispensables en pequeñas cantidades	Fe – Cu – Zn – B – Mo
No indispensables	Útiles pero no indispensables para su vida	Cl – Na – Si - I
Tóxicos	Tóxicos para el vegetal	Al

Fuente: Resh (1997).

Es muy importante tener en cuenta que cualquiera de los elementos antes mencionados pueden ser tóxicos para las plantas si se agregan al medio en proporciones inadecuadas, especialmente aquellos que se han denominado elementos menores, por lo que estos parámetros deben ser considerados en el momento de realizar la solución nutritiva.

II.1.5.2. Formulación de la solución nutritiva

En hidroponía los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua. Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, constituyen una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico (Chávez, et al. 2001).

Según Mórzan (1999), la formulación de una solución nutritiva se refiere a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, generalmente expresados en partes por millón (ppm). Las sales fertilizantes utilizadas para la preparación de soluciones nutritivas, se caracterizan por su alta solubilidad, de esta forma se deberán elegir aquellos que se presentan en sus formas hidratadas.

Según Castañeda (1997), una forma de preparar la solución nutritiva para ser utilizada en hidroponía y probada con éxito en varios países de América Latina, comprende la preparación de dos

soluciones madres concentradas que luego son disueltas en agua según el nivel de nutrientes requerido por cada cultivo. A estas soluciones concentradas se les denomina solución concentrada A y solución concentrada B. La solución concentrada A aporta a las plantas los macronutrientes, mientras que la solución concentrada B aporta los meso y micronutrientes Guzmán (2004).

A lo largo de los procesos de investigación, se han descrito un gran número de formulaciones que difieren en los fertilizantes que aportan los elementos nutritivos, pero no mayormente en los rangos de concentración óptimos de cada elemento.

II.1.5.3. Análisis químico del agua y corrección de la formulación

Según Chávez et al. (2001), no se debe tener en cuenta solamente la calidad bacteriológica del agua, sino también su calidad química, es decir su aporte de elementos minerales. Por este motivo, se deberá realizar al menos un análisis químico del agua al inicio del cultivo para conocer si existe un aporte significativo de algunos elementos minerales. Por ejemplo: Si la concentración de cualquiera de los elementos que compone la solución es adecuada en el agua que se utilizará, se podría ajustar la solución nutritiva para abaratar su valor.

II.1.5.4 Manejo de la solución nutritiva

II.1.5.4.1. Conductividad eléctrica

Según Chávez et al. (2001), es posible determinar la concentración de cada uno de los elementos nutritivos en la solución a través del análisis químico. Sin embargo, operar un sistema hidropónico requiere realizar controles o estimaciones diarias de la concentración de los elementos nutritivos. El muestrear la solución y llevarla a analizar a algún laboratorio, se transforma en una tarea difícil y de alto costo, además de desconocer oportunamente el estado real de la solución.

Carrasco (1996), sugieren que la estimación de la concentración total de elementos nutritivos disueltos en solución, se realice por medio de la conductividad eléctrica utilizando un conductímetro portátil. La efectividad del uso de este estimador, se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución con relación a la concentración de sales disueltas, junto con utilizar una solución nutritiva que contiene una baja concentración de elementos no esenciales. La conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disociados que hay disueltos en ella (Arano, 2004). Esto quiere decir que entre mayor sea el índice de conductividad eléctrica, mayor es la cantidad de nutrientes que la solución nutritiva contiene.

La cantidad de solución nutritiva concentrada que se recomienda aplicar, depende del requerimiento del nivel de conductividad eléctrica que se maneje para la producción determinada. A escala comercial, el índice de conductividad eléctrica manejada para el cultivo de lechuga, esta comprendida entre 1500 y 2000 Siemens/cm (Arano, 2004).

Según Mórigan (1999), se debe cuidar no sobrepasar las concentraciones adecuadas de elementos minerales disueltos en la solución nutritiva, la absorción de agua y por ende la de nutrientes, disminuye afectando así el crecimiento del cultivo.

II.1.5.4.2. pH

Para mantener disponibles los elementos nutritivos en la solución nutritiva es importante mantener un control del pH, o sea el grado de acidez o alcalinidad de la solución. Según Carrasco (1996), el rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran disponibles ocurre entre 5,5 - 7.

Mórgan (1999), para realizar la medición del pH se utiliza un potenciómetro portátil que debe estar calibrado durante todo el período de uso, de acuerdo a las instrucciones comerciales. Las correcciones de pH generalmente se realizan para acidificar la solución al rango óptimo anteriormente señalado. Esto se explica en el hecho de que a medida que se repone el volumen consumido, aumenta el pH.

Carrasco e Izquierdo (1996), indican que para disminuir el pH a un valor mínimo de 5,5 se agrega una solución ácida, la cual se compone de una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4) en una proporción de 3:1, preparada al 5%.

II.1.5.4.3. Aireación y mantenimiento del nivel de líquido de los contenedores

La solución del medio deberá proveer de nutrientes y oxígeno a las plantas, la frecuencia del riego o reposición del agua, dependerá de la naturaleza del medio, del desarrollo de la cosecha y de las condiciones climáticas, la adhesión de oxígeno deberá ser lo mas uniforme posible, de forma que esté a disposición de las raíces (Resh, 1997).

La solución nutritiva se oxigena no solamente por su circulación a través de los canales de cultivo, sino principalmente, al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación. De esta forma, para un sistema hidropónico de raíz flotante a escala comercial, es aconsejable dejar la mayor distancia posible entre la desembocadura de la tubería colectora y el nivel de solución en el estanque para facilitar la aireación de ésta (Mórgan, 1999).

Marulanda (2003), indica que por lo menos dos veces al día se debe agitar manualmente este ambiente líquido o bien, conectar el compresor eléctrico de tal forma que se formen burbujas, lo cual hace posible la aireación de la solución nutritiva. Con esto, las raíces hacen mejor su trabajo de absorber el agua y los elementos nutritivos, lo que incide muy positivamente en su desarrollo. Si no hay oxígeno en el área de las raíces, ellas primero dejarán de absorber nutrientes y agua y luego empezarán a morir.

II.1.5.4.4. Duración y renovación de la solución nutritiva

Según Mórgan (1999), la duración de la solución nutritiva está en función de su formulación y los cuidados en su manutención. Si la fórmula contiene altas concentraciones de iones indeseados como sulfatos y carbonatos, la cantidad de elementos nutritivos esenciales puede estimarse a través de la conductividad eléctrica por un período extenso de uso. Con esto es factible mantener una solución nutritiva en circulación con sólo correcciones frecuentes de conductividad eléctrica y pH por un período de 3 a 4 meses.

La manutención de la solución no sólo se basa en las correcciones diarias de ajuste de volumen de agua, conductividad eléctrica y pH, sino también, que debe encontrarse limpia y en la oscuridad. De

esta forma se reduce la proliferación de algas y la evaporación de la solución, como también la inclusión de animales.

II.2. ABONOS ORGÁNICOS

II.2.1. Importancia

Cervantes (2004), menciona que la necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos.

Cruz (2002), expone que la aplicación de abonos orgánicos ofrece beneficios favorables para las plantas tales como:

- 1) Sirven como medio de almacenamiento de los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas como es el caso de nitratos, fosfatos, sulfatos, etc.
- 2) Aumenta la capacidad de cationes en proporciones de 5 a 10 veces más que las arcillas.
- 3) Amortiguan los cambios rápidos de acidez, alcalinidad, salinidad del suelo y contra la acción de pesticidas y metales tóxicos pesados.
- 4) Contrarrestan los procesos erosivos causados por el agua y por el viento.
- 5) proporcionan alimento a los organismos benéficos como la lombriz de tierra y las bacterias fijadoras de nitrógeno.
- 6) Atenúan los cambios bruscos de temperatura en la superficie del suelo.
- 7) Reducen la formación de costras al debilitar la acción dispersante de las gotas de lluvia.
- 8) A medida que se descomponen los residuos orgánicos, suministran a los cultivos en crecimiento cantidades pequeñas de elementos metabólicos a tiempo y en armonía con las necesidades de la planta.
- 9) Reducen la densidad aparente del suelo aumentando la infiltración y el poder de retención de agua en el suelo.
- 10) Mejoran las condiciones físicas del suelo mediante la formación de agregados.

II.2.2. Tipos de abonos orgánicos

II.2.2.1. Enmiendas húmicas

El humus es la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el suelo y procede de restos vegetales y animales muertos. Al inicio de la descomposición, parte del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se disipan rápidamente en forma de agua, dióxido de carbono, metano y amoníaco, pero los demás componentes se descomponen lentamente y permanecen en forma de humus (Encarta, 2005).

Vivanco (1998), expresa que el humus es el mejor abono orgánico, ya que posee un contenido muy alto en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio asimilables, acompañado por gran cantidad de bacterias, hongos y enzimas que continúan el proceso de desintegrar y transformar la materia orgánica.

Cervantes (2004) expresa que las enmiendas húmicas favorecen el enraizamiento, ya que desarrollan y mantienen un sistema radicular joven y vigoroso, durante todo el ciclo de cultivo. El

desarrollo radicular, de la planta con aporte de enmiendas húmicas es enorme y esto hace que el desarrollo de la misma sea mucho más rápido, debido a que absorbe mayor cantidad de elementos nutritivos y esto se traduce en mayor producción. Este abono orgánico al desarrollar más las raíces, equilibra también mejor la nutrición de las plantas, mejora el comportamiento de éstas frente a condiciones salinas y ayuda a la eliminación de diversas toxicidades.

II.2.2.2. El compost

Vivanco (1998), explica que el compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable, permitiendo obtener compost, abono que se utiliza para fertilizar y acondicionar los suelos, mejorando su calidad. Al mezclarse con la tierra, favorece el desarrollo de las características óptimas para el cultivo. Para la fabricación de compost se realiza el compostaje, que consiste en mezclar residuos con cal y tierra y se colocan en capas. Las bacterias y otros organismos del suelo forman humus mediante la descomposición de los residuos. La formación del humus se da por una buena ventilación y un grado de humedad suficiente.

II.2.2.3. El abono verde

Suquilanda (1996), menciona que los abonos verdes son cultivos de cobertura, cuya finalidad es devolverle a través de ellos sus nutrimentos al suelo. Se hacen mediante siembras de plantas, generalmente leguminosas, solas o en asocio con cereales.

Se cortan en la época de floración (10 - 20%) y se incorporan en los 15 primeros cm del suelo, para regular su contenido de nitrógeno y carbón y mejora sus propiedades físicas y biológicas. Se practica desde hace 3 000 años y es una de las tecnologías que manejó la agricultura prehispánica.

II.2.2.4. El mulch

Son restos de hojarascas, cosechas u otros materiales, que no deben ser quemados, por el contrario deben ser picados y esparcidos sobre el terreno para que cubran el suelo y una vez que se descompongan se los debe mezclar con el mismo. Esta práctica tiene algunas ventajas como proteger al suelo del sol y el viento, evitando que se reseque y conservando su humedad por mayor tiempo, evita el crecimiento de malezas y favorece la vida microbiana, aunque se debe tener cuidado por que una capa muy gruesa podría en lugares húmedos ayudar a la propagación de plagas como la babosa y caracol, por ello es recomendable realizar esta práctica en lugares donde haya escasez de agua (Enríquez, 1999).

II.2.2.5. El purín

Según Vivanco (1998), el purín está constituido por orina fermentada de los animales domésticos, mezclada con partículas de excrementos, jugos que fluyen del estiércol y agua de lluvia.

Por su importante contenido en sales potásicas el purín es considerado como un abono N-K. Es un abono de efecto rápido, ya que los nutrimentos que contiene se encuentran en su mayor parte en forma fácilmente disponible. La aplicación en dosis elevadas de residuos líquidos puede conducir a la salinización del suelo.

II.2.2.6. Los bioles

Suquilanda (1996), señala que el biol es una fuente de fitorreguladores que se obtienen como producto de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos.

Siendo el biol una fuente orgánica de fitorreguladores, a diferencia de los nutrientes en pequeñas cantidades, es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para actividades agronómicas como: enraizamiento, acción sobre el follaje, mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traducándose todo esto en aumento significativo de las cosechas.

II.2.2.7. Bokashi

Shintani (2 000), explica que el Bokashi, es un término japonés que significa abono orgánico fermentado, el cual se puede obtener siguiendo un proceso de fermentación acelerada, con la ayuda de microorganismos benéficos, que pueden tomar la materia orgánica del suelo y hacerla entrar en el mundo vivo, gracias a la energía química de la tierra.

Según Soto (2005), para la preparación de éste abono se utiliza un saco de carbón vegetal molido; un saco de gallinaza; un saco de cascarilla de arroz; tres sacos de tierra y 1 kg de melaza disuelta en 4000 ml de agua. Es preferible usar tierra o suelo de bosque. Estos insumos pueden modificarse para usar materiales que hay en la finca, por ejemplo restos de hortalizas y concentrado para animales con el fin de adaptar el abono a las condiciones y posibilidades del agricultor.

La metodología utilizada para preparar el bokashi es la siguiente: Es necesario apilar todos los materiales bajo techo y mezclar homogéneamente todos los materiales, agregando 1 Kg de panela disuelta en agua. Luego se extiende el abono dejando una capa de no más de 50 cm sobre el suelo, cubriéndolo con un plástico para acelerar la fermentación. Es importante voltear el material extendido una vez en la mañana y otra vez en la tarde, utilizando palas o azadones para tal efecto. Es necesario agregar suficiente agua, con el cuidado de aplicar la cantidad adecuada solo en la preparación ya que no es necesario agregar más durante la fermentación. El tiempo de fermentación debe ser entre 15 y 30 días dependiendo del clima.

II.2.2.8. Vermicompost o lombricompost

El vermicompost, es un material orgánico de gran calidad, elaborado bajo condiciones controladas en forma natural por la acción de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*). Se caracteriza por tener un balance idóneo de humus y ácidos fúlvicos, lo que le brinda propiedades muy particulares que se suman a su inmensa riqueza microbial (Fischersworrning y Robkamp, 2001).

El lombricompost es un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Presenta una elevada solubilización, pues su composición enzimática y bacteriana proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas. Es de color negruzco, granulado, homogéneo y con un olor agradable a mantillo de bosque, con un pH determinado por la alimentación que se dio a los sujetos.

Produce un aumento del porte de las plantas, árboles y arbustos y protege de enfermedades y cambios bruscos de humedad y temperatura durante el transplante de los mismos. El vermicompost contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fósforo y dos veces y media más potasio que el mismo peso del estiércol de bovino (Fischersworing y Robkamp, 2001).

Es un excelente aglutinador, lo cual favorece la presencia de una estructura granular en el suelo, retiene y sede hasta cinco veces su volumen en humedad, útil del proceso vegetal, favorece y mantiene el equilibrio de la vida microbiana y a la presencia del Nitrógeno orgánico disponible, ya que su composición, presenta una relación C/N de 12/1 como parte del equilibrio biológico que sostiene (García, 2003). En el cuadro 4 se muestra la composición del humus de lombriz con un pH neutro.

Cuadro 4. Composición del humus de lombriz

CARACTERÍSTICAS	CONTENIDO %
Humedad	30-60
Nitrógeno	1 - 2.6
Fósforo	2 – 8
Potasio	1 – 2.5
Calcio	8 – 8
Magnesio	1 – 2.5
Materia Orgánica	30 – 70
Carbono orgánico	14 – 30
Ácidos Fúlvicos	10 – 30
Ácidos Húmicos	2.8 – 5.8
Sodio	0.02
Cobre	0.05
Hierro	0.02
Manganeso	0.006
Relación C/N	10 – 11

Fuente: Infoagro, 2004

El humus contiene un elevado porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos; pero éstos no se producen por el proceso digestivo de la lombriz sino por toda la actividad microbiana que ocurre durante el periodo de reposo dentro del lecho (Fischersworing y Robkamp, 2001).

II.2.2.9. Soluciones nutritiva de origen orgánico

Constituye la fuente de nutrimentos de un sistema intensivo de cultivo sin suelo, obtenida a partir de la degradación de la materia orgánica por vía aeróbica o anaeróbica.

II.2.2.9.A. Antecedentes

Poco se sabe sobre la elaboración de soluciones de origen orgánico. Según Solano (2002), el propósito de utilizar abonos orgánicos líquidos es el de sustituir la producción convencional utilizada en los últimos cuarenta años, por una agricultura conservacionista, implementando prácticas sostenibles en un sistema de producción que propicia el manejo racional de los recursos por medio de tecnología apropiada.

Se inicia el proceso de reciclaje de residuos de lo producido en la finca; se elabora el compost 50-50 (N y C); excelente por su composición. Además, se instala el área de lombricultura, con el objetivo de extraer el lombricompost, el purín y elaborar el té de lombricompost; inicia a su vez la elaboración de Bokashi y de abonos orgánicos líquidos. (Solano, 2002)

Según Álvarez, Palacios, Hoyos, Alcántar y Castillo (2001), comprobaron que ciertos elementos de la vegetación acuática y terrestre, presentes en las zonas bajas tropicales y accesibles al productor de bajos recursos, constituyen un importante reservorio de nutrimentos potencialmente utilizables.

La técnica de hidroponía orgánica mostró su eficiencia para material de propagación. Por ello, se recomienda que tanto los materiales de construcción y dimensiones de los módulos de hidroponía orgánica, como los cultivos que en ellos se produzcan, sean determinados de acuerdo con los productores y atendiendo a las demandas del mercado al que se pretenda tener acceso.

II.3. LECHUGA.

II.3.1. Descripción de la lechuga

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja por ser un ingrediente básico en las dietas bajas en calorías; se consume en ensaladas, es ampliamente conocida y se cultiva casi en todos los países del mundo.

II.3.2. Datos generales

Según Chávez, et. al., (2004), la lechuga pertenece a la familia Asteraceae Compositae y su nombre científico es *Lactuca sativa* L.

II.3.3. Descripción botánica

Bernard (1967) indica que la lechuga es una planta anual, con un ciclo vegetativo de 50 a 90 días, constituida por una roseta de hojas grandes y sueltas, cuyo color varía entre crema, verde y amarillo, existiendo cuatro tipos de lechuga: el repollado, en el que los nervios centrales de la hoja se curvan hacia adentro y forman cabezas; escarola, de hojas más blandas a la del tipo anterior; el de oreja de mula, que no forma cabezas compactas y el cos o romano, que es de hojas largas, estrechas y dobladas, en manojo semiabierto. La raíz de la lechuga no llega nunca a sobrepasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado. El tallo es cilíndrico y ramificado. Las inflorescencias son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos y las semillas están provistas de un vilano plumoso, el largo va de 4 a 5 mm, de color blanco o crema. Aunque también hay pardas y castañas; las semillas recién cosechadas, generalmente no germinan, debido a la impermeabilidad que las semillas presentan en presencia de oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) para inducir la germinación. Hay aproximadamente 800 semillas/g en la mayoría de las variedades de lechuga, el fruto de la lechuga es aquenio, seco y oblongo (Chávez, et al. 2004).

II.3.4. Origen

Saravia (1994), menciona que a la lechuga se le considera originaria de Asia, aunque existe lechuga silvestre en África, archipiélago de Madeira, Europa e Islas Canarias. Morgan (1999), indica que todas las variantes de lechuga proceden de la especie silvestre *Lactuca serriola*, que crece en bosques, laderas rocosas y terrenos sin cultivar de Asia, norte de África y norte de Europa.

II.3.4. Requerimientos del cultivo

II.3.4.1. Suelo

La lechuga prefiere el suelo franco arenoso con alto contenido de materia orgánica. La lechuga es sensible a la acidez del suelo, se debe agregar cal si es necesario para ajustar el pH a 6.5-7.0. La lechuga también es sensible al exceso de sales, especialmente durante la germinación. Si el previo cultivo fue fertilizado de forma fuerte, puede ser aconsejable lavar la tierra a través de mucha irrigación. Requiere buen drenaje para evitar algunas enfermedades de hongos tales como la pudrición del tallo causada por los hongos *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, y *Sclerotinia* (Kuepper, Bachmann y Thomas 2004).

II.3.4.2. Clima

Es una hortaliza que prefiere los climas templados. La temperatura óptima está entre los 15 y los 18 °C. Se adapta mejor si las noches son frescas, con una alternancia de temperaturas día/noche. Por encima de los 25° C la germinación es pobre y la planta tiende a espigar. En días de mucho calor el cogollo se puede ir a espiga, lo cual origina hojas amargas y cogollos poco compactos. Por tanto, en verano hay peligro de espigado. Puede soportar hasta -6° C, pero hay daños en las hojas con -2° C que ocasionan coloración rojiza dependiendo de la variedad. Es recomendable protegerlas del sol fuerte durante el verano y de la lluvia una vez que estén desarrolladas, ya que se pudren fácilmente las hojas mojadas. Para evitarlo, puede disponerse un techo de plástico sobre un armazón que permita una buena ventilación. Por esta razón, se debe regar al pie, procurando no mojar las hojas (Infoagro, 2002).

Carrasco e Izquierdo (1996), indican que la lechuga puede iniciar la germinación hasta un mínimo de 5°C, el óptimo se presenta entre los 16 y 20 ° C siendo esta última la mejor. Las plántulas son tolerantes a bajas temperaturas entre 5 y 7 °C, pero las plantas maduras son sensibles a temperaturas que bajen de cero, dañando las hojas externas principalmente. Las condiciones cálidas y secas ocasionan la formación de semillas, que ocurre cuando las temperaturas rebasan los 20 °C y se mantienen noche y día.

II.3.4.3. Fertilización

Según Chávez, et al. (2004), la calidad y el rendimiento de la lechuga son afectados marcadamente por una fertilización deficiente de nitrógeno, debido a que origina plantas pequeñas y de coloración amarillenta siendo poco suculentas; por otro lado, las dosis altas provocan un rápido crecimiento de las plantas, lo que suscita que en las lechugas variedad *Capitata* se retrase la formación de la cabeza, quedando sueltas y livianas.

Nitrógeno (N): Se recomienda aplicar 60 Kg/ha al momento del transplante y otra cantidad similar aproximadamente de 3-4 semanas después.

Fósforo (P): 120 Kg/ha de P_2O_5 , en la primera aplicación se aplican 80 Kg/ha antes de hacerse los surcos, incorporándolo al suelo. En la segunda fertilización se utiliza 40 Kg/ha, antes del transplante en bandas a 5 cm a un lado y por debajo de la semilla.

Potasio (K): Por lo regular no se recomienda la aplicación de este nutriente, aunque si se desea se debe aplicar en la primera incorporación con el Nitrógeno y Fósforo.

II.3.5. Particularidades del cultivo

II.3.5.1. Siembra

La siembra de la lechuga suele hacerse por medio de pilones. Se recomienda el uso de bandejas de poliestireno de 288 celdas, sembrando en cada celda una semilla a 5 mm de profundidad. Una vez transcurridos 30-40 días después de la siembra (dds), la lechuga será transplantada cuando tenga 5-6 hojas verdaderas y una altura de 8 cm., desde el cuello del tallo hasta las puntas de las hojas. La siembra directa suele realizarse normalmente en Estados Unidos para la producción de lechuga *Iceberg* (INFOAGRO, 2002).

II.3.5.2. Preparación del terreno

Según INFOAGRO (2002), primero se realizará la nivelación del terreno, especialmente en el caso de zonas encharcadizas, seguidamente se procederá a realizar surcos o tablones. Se recomienda cultivar lechuga después de leguminosas, cereal o barbecho, no deben cultivarse como precedentes de crucíferas o compuestas, manteniendo las parcelas libre de malas hierbas y restos del cultivo anterior. No deberán utilizarse el mismo terreno para más de dos campañas con dos cultivos a lo largo de cuatro años, salvo que se realice una sola plantación por campaña, alternando el resto del año con barbecho, cereal o leguminosas. La desinfección química del suelo no es recomendable, ya que se trata de un cultivo de ciclo corto y muy sensible a productos químicos, pero si se recomienda utilizar la solarización en verano. Se recomienda el acolchado durante los meses invernales empleando láminas de polietileno negro o transparente. Además también se emplean en las lechugas de pequeño tamaño y las que no forman cogollos cuyas hojas permanecen muy abiertas, para evitar que se ensucien de tierra procedentes del agua de lluvia.

II.3.5.3. Transplante

Según INFOAGRO (2002), la plantación se realiza en caballones o en banquetas a una altura de 25 cm para que las plantas no estén en contacto con la humedad, además de evitar los ataques producidos por hongos. La plantación debe hacerse de forma que la parte superior del cepellón quede a nivel del suelo, para evitar podredumbres al nivel del cuello y la desecación de las raíces. En el cuadro 5 se muestra la densidad de plantación según la variedad utilizada.

Cuadro 5. Densidad de siembra de lechuga según la variedad utilizada.

Variedad	Nº plantas/ha
Romana	60.000
Iceberg	80.000
Baby	130.000

Fuente: Infoagro, 2004

II.3.5.4. Plagas

Según Chávez, et al. (2004), la lechuga es atacada por relativamente pocas plagas de insectos, principalmente áfidos y tisanóptaros o trips. Ambos se pueden controlar bastante bien con jabones a base de potasio o repelentes como los productos a base de ajo. Si el agua es dura, la solución se debe mezclar con agua ablandada o destilada porque el calcio en las aguas duras secuestra los ácidos grasos y reduce el efecto de la fumigación.

II.3.5.5. Enfermedades

Según Kuepper, et al. (2004), aunque pocas enfermedades afectan a lechugas y verduras jóvenes aparte del mal de almácigo (damping-off), las plantas más grandes tienen más desafíos. La caída por *Sclerotinia* es causada por hongos que atacan las hojas inferiores en contacto con el suelo. La podredumbre del tallo causada por la especie *Rhizoctonia*, es otra enfermedad de hongo potencialmente seria que viene del suelo. El hongo natural *Gliocadium virens*, puede usarse para controlar los hongos causantes de enfermedades *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*. Para el control de estas enfermedades, se debe aplicar productos a base de cobre y mantener un control adecuado sobre la nutrición y riego de la plantación.

II.3.5.6. Control de malezas

La eliminación de malezas se realiza por medio de escardas frecuentes o en forma manual, a fin de evitar la competencia por nutrientes y agua, o con herramientas agrícolas como azadones o azadies.

II.3.5.7. Cosecha

Según Chávez, et al., (2004) se deben recoger cuando tienen el cogollo sólo algo consistente, ni mucho, ni poco, cuando requiera de una fuerza manual moderada para ser comprimido, entonces es considerada apta para ser cosechada. Como media deben transcurrir 2 meses antes de la cosecha, que se hará antes de la subida de la flor para evitar que se amarguen. Se corta la planta por la base a ras de suelo, pero nunca si han sido regadas y tienen agua en el interior del cogollo.

II.3.6. Cultivo de lechuga en hidroponía

Según Carrasco e Izquierdo (1996), la lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía.

La lechuga se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en el sistema NFT, ya que es posible obtener lechugas de alta calidad en varias cosechas al año (Carrasco e Izquierdo, 1996).

II.3.6.1. Requerimientos del cultivo en hidroponía

Carrasco e Izquierdo (1996), mencionan que el rango de temperatura óptimo de germinación para la lechuga está comprendido entre los 4,5 y 27 °C, con un tiempo aproximado de germinación que va desde 6 hasta 12 días, un número de plantas por m² en un sistema "NFT" que va desde 22 hasta 24 según el cultivar y un tiempo aproximado de trasplante a cosecha de 25 a 40 días.

II.3.7. Variedades de lechuga romana

Según Chávez, et al. (2001), existen 6 tipos de lechuga variedad romana, cuyas características se detallan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Características de las lechugas variedad romana.

Variedad romana	Color	Características
Capistrano (PS 77393)	Verde oscuro	Excelente tolerancia al “bolt” y al quemado del borde de las hojas. Buena calidad general y color.
Clemente (PVO 9200022)	Verde oscuro	Comportamiento consistente por muchos años. Buen potencial de rendimiento. Adecuada para mercado en fresco y corazones.
Conquistador (PS 0136)	Verde oscuro	Cabezas altas, verde brillante con buen llenado. Buen potencial de rendimiento. Adecuado para mercado en fresco y corazones.
Parris Island COS 318	Verde medio	Durable, amplia adaptación. Tolerante al “bolt” y al quemado de los bordes de las hojas.
Siskiyou (PS 5179)	Verde	Excelente potencial de peso. Buena calidad de hoja, alto porcentaje de “blanching” para la industria de mercado fresco – cortado.

Fuente: Chávez, et al., 2001.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante los factores limitantes para el adecuado desarrollo de la agricultura tradicional, entre los que destaca la poca cantidad de agua disponible en algunas regiones del país; el bajo porcentaje de tierra apta para la agricultura en Guatemala, que según el IARNA (2004), es de 34.4% del total de la tierra, catalogada como tierra “sin limitaciones” y “con pocas limitaciones” para la agricultura respectivamente y un 17% del territorio nacional en el que se recomienda una agricultura que no requiera de mecanización agrícola y si de técnicas de conservación de suelo; suelos lixiviados, salinos o intoxicados; cambios climáticos poco predecibles y el desarrollo de producciones estacionales que hacen que los precios oscilen de acuerdo a la oferta y la demanda existente al momento de levantar la cosecha, resulta importante el optar por tecnologías apropiadas, adaptables, económicamente accesibles, funcionales y que permitan la planificación adecuada para producir hortalizas orgánicas, mismas que son altamente demandados en nichos de mercado existentes a nivel nacional e internacional.

La posibilidad de producir hortalizas orgánicas de alta calidad, reviste importancia en países con consumidores concientes y dispuestos a adquirir productos que contribuyan a mantener su salud, aunque esto signifique pagar un sobreprecio. La reducción del espacio de suelo cultivable, la menor disponibilidad de agua saneada para el riego y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas, especialmente las de consumo en fresco, han hecho que las técnicas de cultivo hidropónico sean potencialmente atractivos (Carrasco e Izquierdo, 1996).

En este sentido, la hidroponía permite, con reducido consumo de agua y pequeños trabajos físicos pero con mucha dedicación y constancia, producir hortalizas frescas, sanas y abundantes en pequeños espacios, aprovechando en muchas ocasiones elementos desechados como botes, botellas, bolsas, plástico, llantas, madera, etc. que de no ser utilizados causarían contaminación (Marulanda e Izquierdo, 2003). Dentro del contexto de la agricultura urbana, peri-urbana y rural, la hidroponía puede ser muy bien aplicada con tecnologías sencillas y de bajo costo para producir hortalizas de alta calidad. (Caldeyro, 2003).

Según Castañeda (1997), Ni los sustratos ni el agua utilizada en hidroponía contienen alimento para la planta, por lo que se le debe dar de forma artificial por medio de soluciones nutritivas elaboradas de una mezcla de fertilizantes químicos, mismos que son difíciles de obtener y manejar a nivel rural. Aunque estos químicos y soluciones nutritivas preparadas, pueden obtenerse en el comercio agrícola, el no tener un área lo suficientemente grande como para que se justifique hacer una inversión en materias primas de esta clase, los problemas económicos, las dificultades de transporte y la inexperiencia en la preparación de las mezclas, representan el problema principal de los habitantes del área urbana, peri-urbana y especialmente rural, que quieren realizar actividades agrícolas en sistemas hidropónicos.

Dentro del contexto de agricultura orgánica, existe el fomento al uso de insumos locales y el reciclaje de nutrientes dentro de la misma unidad productiva, con el fin de retribuir los nutrientes extraídos por la cosecha (Fischersworing, et al. 2001). De acuerdo a lo anterior, se plantea el problema de acuerdo al siguiente cuestionamiento: ¿Se pueden generar soluciones nutritivas de origen orgánico, elaboradas a partir de bokashi o lombricompost, que puedan ser implementadas en un sistema hidropónico para producir lechugas sin utilizar el suelo y que permita utilizar los insumos de origen orgánico locales como materia prima para su preparación?

El presente proyecto buscó encontrar una respuesta al cuestionamiento anterior, con el fin de generar las soluciones nutritivas de origen orgánico en la propia finca con una tecnología adaptable y viable, que además de ser rentable, permita utilizar la experiencia agrícola de los productores para el adecuado desarrollo de un sistema hidropónico orgánico.

III.1. Objetivos

III.1.1. General

III.1.1.1. Evaluar el efecto de dos soluciones nutritivas de origen orgánico (Bokashi y Lombricompost) sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga en el sistema hidropónico de raíz flotante.

III.1.2. Específicos:

III.1.2.1. Cuantificar el contenido nutricional y las características químicas de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del bokashi y del lombricompost.

III.1.2.2. Determinar el efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento y la calidad de lechuga en un sistema hidropónico.

III.1.2.3. Determinar económicamente que tratamiento es el más rentable en la producción hidropónica de lechuga.

III.2. Hipótesis

III.2.1 Hipótesis alternativa:

Existe incremento en el rendimiento del cultivo de lechuga con la utilización de las soluciones nutritivas de origen orgánico en un sistema hidropónico en comparación con el testigo comercial.

III.2.2 Hipótesis nula

No existe incremento en el rendimiento del cultivo de lechuga con la utilización de las soluciones nutritivas de origen orgánico en un sistema hidropónico en comparación con el testigo comercial.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Descripción del área experimental

IV.1.1. Localización del área de trabajo

La presente investigación se realizó en el techo (terraza) de la casa de habitación ubicada en el lote 12, Sector Campo Seco, Concepción las Lomas zona 16 de la ciudad de Guatemala (zona urbana de la ciudad capital), a una altura de 1496 msnm, entre 90°28'48.6" latitud oeste y 14°35'45.6" longitud norte.

IV.1.2. Características climáticas

La clasificación climática de Guatemala según el INSIVUMEH (2004), coloca el área experimental con un clima templado húmedo con invierno benigno, una temperatura promedio de 19.39°C y una precipitación pluvial de 1194.11 mm/año.

IV.2. Material experimental

IV.2.1. Lechuga

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron plantas de lechuga variedad *longifolia* conocidas con el nombre común de lechuga tipo Romana de color verde, distribuidas comercialmente bajo el nombre de Parris Island COS 318.

IV.2.2. Sistema de producción

IV.2.2.1. Materiales y equipo

IV.2.2.1.1. Piletas

El experimento se realizó en piletas destinadas para producciones hidropónicas con sistema de raíz flotante, situadas bajo techo tipo invernadero, con el fin de tener un manejo adecuado, según los requerimientos del experimento. Cada pileta tuvo 0.20 m de alto, 1 m de ancho y un 1 m de largo.

IV.2.2.1.2. Estructuras de separación

La modificación de las piletas, se realizó colocando reglas de madera entre las unidades experimentales, así como un plástico negro en cada unidad, con el fin de retener el agua y de dividir las repeticiones de cada tratamiento.

IV.2.2.1.3. Estructura de sostén

Dado que las plantas cultivadas en un sistema de raíz flotante requieren de una estructura de sostén, se utilizaron 2 planchas de duroport por cada unidad experimental, con el fin de que flotaran sobre la superficie líquida y sirvieran como soporte para las lechugas.

IV.3. Tratamientos de estudio

Materia prima para preparar soluciones nutritivas de origen orgánico.

IV.3.1. Solución nutritiva a partir de lombricompost

Se obtuvo la solución nutritiva por medio de un té extraído del lombricompost, material que fue elaborado bajo condiciones controladas según las recomendaciones de Fischersworrning y Robkamp (2001) en forma natural por medio de la acción de la lombriz coqueta roja californiana (*Eisenia foetida*), que fue alimentada con la mezcla compuesta por el 50% de desechos de cosecha de café y 50 % de estiércol bovino en las instalaciones de la empresa Pílon Fértil S.A.

IV.3.2. Solución nutritiva a partir de bokashi

Se obtuvo la solución por medio de un té extraído de éste material. El bokashi fue preparado en el área experimental según el procedimiento descrito por Soto (2005) y elaborado con los materiales descritos en el cuadro 7.

Cuadro 7. Materiales utilizados para la preparación del bokashi usado en la investigación.

Material	Cantidad (Kg)	Función
Cascarilla de arroz	46	Medio de cultivo para microbios
Gallinaza	46	Suministro de Nitrógeno
Desechos de Lechuga	46	Suministro de nutrientes y microorganismos
Carbón molido	25	Retiene nutrientes, brinda microbios y aireación
Ceniza	9	Suministro de K, Ca y minerales
Panela	1	Acelerador de fermentación
Estiércol bovino	46	Suministro de nutrientes
Levadura	0.115	Acelerador de fermentación

IV.3.3. Solución nutritiva comercial (testigo)

Se utilizaron las dos soluciones madres A y B recomendadas por Castañeda (2001) y preparadas por el INCAP, con el fin de tener un testigo de origen químico y realizar las comparaciones necesarias.

IV.4. Equipo técnico

IV.4.1. Fertilización y fumigación

Para dichas labores, se utilizó una bomba marca “Brudden” con capacidad para 5 l para hacer aspersiones en forma manual.

IV.4.2. Aireación

Según Castañeda (2001), al menos dos veces al día se debe agitar el medio líquido formando burbujas, lo que hace posible la aireación de la solución de nutrientes. Dado que el sistema busca adaptarse al área rural, la aireación se realizó de forma manual con el fin de que las raíces absorbieran el agua y los elementos nutritivos de mejor forma.

IV.4.3. Equipo de laboratorio

Para la preparación de las soluciones nutritivas se utilizaron los siguientes instrumentos e insumos.

- Balanza marca Tecnipesa con capacidad para medir hasta 5 Kg.
- Potenciómetro marca HANNA (medidor de pH, conductividad, temperatura y ppm)
- Termómetro de cristal con escala de 0 a 100 °C.
- Guantes de laboratorio
- Galones plásticos
- Toneles plásticos

- Cubeta plástica con capacidad para 2 l
- Un recipiente de plástico con capacidad para 1000 ml, graduado en cc y ml.
- Botella plástica
- 1 m de manguera
- Calculadora
- Marcador
- Libreta de campo
- Regla

IV.5. Descripción de los tratamientos

Se evaluaron dos soluciones nutritivas a partir de abonos orgánicos: bokashi y lombricompost, bajo tres niveles de conductividad eléctrica (baja, media y alta) más una solución nutritiva comercial utilizada como testigo bajo el nivel de conductividad, recomendado por Arano (2004) para la producción de lechuga, con tres repeticiones para cada tratamiento evaluado.

Cuadro 8. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Soluciones nutritivas	Código	Niveles de Conductividad Eléctrica en Siemens/cm.
1	Lombricompost	T1	1000
2	Lombricompost	T2	1400
3	Lombricompost	T3	1800
4	Bokashi	T4	1000
5	Bokashi	T5	1400
6	Bokashi	T6	1800
7	A y B Testigo	T7	1500

IV.6. Metodología experimental

IV.6.1. Diseño

Se utilizó un diseño Bloques completos al azar, con seis tratamientos y un testigo comercial, con tres repeticiones. Se incluyó un testigo a base de fertilizantes químicos

IV.6.2. Modelo lineal

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \Sigma_{ij} \quad i = 1, \dots, t \quad j = 1, \dots, b$$

En donde:

Y_{ij} = Rendimiento observado en el i -ésimo tratamiento, j -ésimo bloque.

μ = Efecto de la media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

Σ_{ij} = Efecto del error experimental en el i -ésimo tratamiento, j -ésimo bloque.

t = Número de tratamientos

b = Número de bloques

IV.7. Unidad experimental

Cada unidad experimental tuvo 2 planchas de duroport con 15 lechugas como parcela bruta, haciendo un total de 30 lechugas y la parcela neta que se utilizó para la medición de las variables fue de 15 plantas.

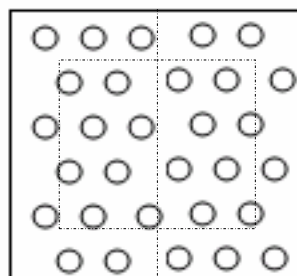


Figura 1. Unidad experimental

- Parcela Bruta: 1 m x 1 m con 30 lechugas
- Parcela neta: 15 lechugas
- Área experimental: 35 m² en total

IV.8. Croquis de campo y distribución aleatoria de los tratamientos

IV.8.1. Croquis de campo

Ver Anexo 1.

IV.8.2. Distribución aleatoria de los tratamientos

En el cuadro 9 se define la distribución aleatoria de los tratamientos.

Cuadro 9. Distribución aleatoria de los tratamientos.

Bloque	Tratamientos por código						
1	T2	T5	T3	T4	T6	T1	T7
2	T4	T6	T5	T2	T7	T1	T3
3	T3	T1	T4	T5	T7	T2	T6

IV.9. Variables de respuesta

IV.9.1. Determinación del contenido nutricional de las soluciones nutritivas

Se tomó una muestra de 1000 ml de cada solución nutritiva y fue enviada al laboratorio de agua y suelos de Anacafé (ANALAB) para determinar el contenido nutricional de las mismas.

IV.9.2. Rendimiento

Se determinó tomando el peso en kg/m² de lechuga. Un peso adecuado según Bernard (1967), se da entre los 80 g y los 150 g por unidad.

IV.9.3 Calidad del producto

Se determinó comparando el peso, tamaño, color y forma de las lechugas producidas con las soluciones nutritivas evaluadas de acuerdo a las normas comunes de calidad establecidas a nivel comercial por Bernard (1967) en donde se enmarca lo siguiente:

Cuadro 10. Comparación de características para determinar la calidad del cultivo de lechuga

Característica	Categoría I	Categoría II
Bien Formados	X	X
Cerradas	X	
Apretados	X	
Exentos de ataques de plagas o enfermedades	X	X
Libres de traza de congelación	X	X
Libres de daños físicos	X	X
Coloración normal	X	

Fuente: Bernard (1967)

IV.9.4. Análisis de la información

IV.9.4.1. Análisis estadístico

Como lo recomienda Little y Hill (1989), a la variable rendimiento se le realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA), para encontrar el grado de significancia para la misma. A esta variable se le realizó las pruebas de medias al 5% con el sistema de Diferencia Mínima Significativa (DSM) y Rango Múltiple de DUNCAN para determinar los mejores tratamientos.

IV.9.4.1. Análisis económico

Se realizó con la finalidad de determinar cual de los tratamientos brindó mayor rentabilidad, para ello se obtuvieron los costos totales de producción (CTP), el ingreso bruto (IB), el ingreso neto (IN) y se calculó la rentabilidad (R) con el modelo matemático citado por Soberanis (2002).

$$R = \frac{IN \times 100}{CTP}$$

Donde:

$$IN = IB - CTP$$

Para determinar el ingreso bruto (IB) se utilizó el precio promedio de Q. 13.20 por kg de hoja de lechuga, con base al precio de compra actual.

IV.10. Manejo del experimento

IV.10.1 Duración

El periodo de realización del experimento comprendió del mes de enero al mes de junio de 2006, con una duración de 6 meses, de acuerdo a la preparación del experimento y el ciclo fonológico de la lechuga romana desde su germinación hasta la cosecha, periodo en el que se desarrollaron las siguientes actividades:

IV.10.2. Preparación de la solución nutritiva

IV.10.2.1. Solución testigo A y B

Según Castañeda (2001), para preparar la solución nutritiva testigo se utiliza un recipiente plástico en donde se miden 6000 ml de agua para la solución A y otro en donde se miden 4000 ml de agua para la solución B, allí se ponen los elementos nutrientes según lo indica el cuadro 11.

Cuadro 11. Elementos nutrientes necesarios para preparar la solución A y B

SOLUCIÓN A		SOLUCIÓN B	
Elementos	Cantidad (g)	Elementos	Cantidad (g)
Fosfato Mono Amónico (12 - 61 - 0)	340	Nitrato de magnesio	1242.000
Nitrato de Calcio	2,080	Sulfato de magnesio	492.000
Nitrato de Potasio	1,100	Sulfato de manganeso	2.000
		Sulfato de cobre	0.480
		Sulfato de zinc	1.200
		Sulfato de cobalto	0.020
		Ácido bórico	6.200
		Molibdato de amonio	0.020
		Citrato de hierro	16.320
		amoniacal verde	

Fuente: Castañeda (2001)

Se mezcla el segundo nutriente cuando se haya disuelto totalmente el primero y el tercero cuando se hayan disuelto los dos anteriores siguiendo el orden en que se pesó cada uno de ellos. Cuando quedan muy pocos restos de los fertilizantes, se completa con agua hasta alcanzar 10 l y se agita durante 10 minutos más, hasta que no aparezcan residuos sólidos.

Según Castañeda (2001), la proporción original que se usa en la preparación de la solución de nutrientes es de cinco partes de la Solución A por dos partes de la Solución B. No se mezclan las soluciones A y B cuando se encuentran en su forma concentrada, puesto que se inactivarían muchas de las sales nutritivas, lo que causaría daños a la planta, en lugar de alimentarla. Su mezcla sólo se realizará en agua, echando una primero y la otra después.

IV.10.2.2. Solución nutritiva de bokashi

Siguiendo la recomendación de Fischersworring et al. (2001), se utilizó un recipiente de plástico con boca ancha de un color azul colocado bajo techo para protegerlo del sol. Se preparó esta solución nutritiva, colocando 46 Kg de bokashi preparado en un saco con una piedra adentro, se amarró y se metió en el recipiente de boca ancha antes mencionado, dejando un pedazo del saco afuera, como si fuera una gran bolsa de té. Luego se agregaron 100 l de agua limpia, en donde se dejó reposar por una semana, periodo en el que hubo liberación de gases por medio de un respiradero ubicado en la tapa del recipiente.

Al pasar la primera semana se exprimió el saco y se sacó del recipiente plástico. El líquido que quedó se utilizó como la solución nutritiva concentrada. A ésta solución se le realizó un análisis de laboratorio, con el fin de conocer su contenido nutricional, tomando una muestra de 1000 ml para el efecto.

IV.10.2.3. Solución nutritiva de lombricompost

Se preparó la solución nutritiva a base del lombricompost por medio de la misma metodología utilizada para preparar la solución nutritiva de bokashi, con 46 Kg de lombricompost. Al pasar la primera semana se exprimió el saco y se sacó del recipiente plástico. El líquido que quedó se utilizó como la solución nutritiva concentrada. A ésta solución se le realizó un análisis de laboratorio, con el fin de conocer su contenido nutricional tomando una muestra de 1000 ml para el efecto.

IV.10.3. Preparación de las piletas

IV.10.3.1. Limpieza

La limpieza de las piletas se llevó a cabo por medio de la remoción de agentes extraños al medio de cultivo como polvo y basura en forma manual y por la aplicación de hipoclorito de sodio (cloro comercial) a una concentración de 55 ppm a un pH de 7.0

IV.10.3.2. Transplante

Debido a que el cultivo fue establecido bajo un sistema flotante o hidropónico, las semillas se sembraron en bandejas para pilones, cada bandeja tuvo 242 plantas. Se usó un sustrato preelaborado y desinfectado compuesto de turba, perlita y vermiculita. Durante 30 días aproximadamente, permaneció en dichas bandejas, con un manejo adecuado de pilonera. Los pilones enraizados se trasladaron a planchas de duroport posteriormente.

Se colocó el plástico negro y posteriormente se llenaron las piletas con agua limpia hasta que ésta llegó a los 10 cm de profundidad. Los pilones se colocaron dentro de recipientes plásticos de 50 cc con el fin de sostenerlos mecánicamente, luego se colocaron en agujeros hechos a 25 cm entre plantas en las planchas de duroport, con el fin de dar soporte a los pilones. Se colocaron las planchas, de forma que flotaran sobre el agua que estaba en las pilas y se aplicaron las soluciones nutritivas en el agua según el procedimiento descrito, hasta que el conductímetro marcó el nivel adecuado según el requerimiento de cada tratamiento.

IV.10.3.3. Aireación de las raíces

La aireación de las raíces se efectuó de manera diaria junto con el chequeo rutinario, efectuando la recirculación del agua por unidad experimental en forma manual una vez al día.

IV.11. Cronograma de trabajo

Ver Anexo 2.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.1. Elaboración de soluciones nutritivas a partir de los abonos orgánicos tipo bokashi y lombricompost

V.1.1. Elaboración de la solución nutritiva a partir del abono orgánico tipo bokashi

En la etapa de fermentación, el abono tipo bokashi alcanzó una temperatura promedio de 50° C dada por el incremento de la actividad microbiana, misma que fue controlada mediante el volteo diario de los ingredientes. A los 25 días, la temperatura del abono empezó a bajar por la disminución de la fuente energética, logrando así un proceso de estabilización y la eliminación de malos olores a los 30 días.

Siguiendo la metodología planteada para obtener la solución nutritiva a partir de éste abono, se dejó reposar este material en agua por una semana, obteniendo una solución concentrada de color oscura, con un olor similar a tierra mojada. Durante los primeros 5 días se determinó un aumento constante en la concentración de la solución por medio de un conductímetro portátil, mismo que se estabilizó a los 7 días. Al tener una solución nutritiva concentrada de bokashi, fue necesario disolverla en agua según la concentración deseada para cada tratamiento. A una temperatura de 20°C, la concentración de la solución nutritiva elaborada a partir de bokashi fue de 2900 siemens/cm y un pH neutro que osciló entre 7 y 7.2 por lo que no fue necesario realizar correcciones en el mismo.

V.1.2. Elaboración de la solución nutritiva a partir del abono orgánico tipo lombricompost

Siguiendo la metodología planteada para obtener la solución nutritiva a partir de éste abono, se dejó reposar este material en agua por una semana, notando que el color oscuro de la solución aumentaba junto con la concentración de la misma, aumentando notablemente al remover el saco en el agua. La solución concentrada se estabilizó a los 5 días, factor determinado a través del conductímetro portátil. Al igual que la solución nutritiva obtenida a partir del bokashi, fue necesario disolver ésta solución en agua según la concentración deseada para cada tratamiento. A una temperatura de 20°C, la concentración de la solución nutritiva elaborada a partir de lombricompost fue de 4000 siemens/cm y un pH que osciló entre 6.8 y 7.2.

V.2. Implementación de las soluciones nutritivas de origen orgánico en el cultivo hidropónico de lechuga frente al testigo comercial

V.2.1. Implementación de la solución nutritiva de bokashi

Con el uso de ésta solución, se tuvieron manifestaciones de deficiencias nutricionales en el área foliar, tales como clorosis en hojas jóvenes y maduras, así como falta de crecimiento a nivel foliar y radicular.

En cuestiones de manejo, es importante indicar que debido a la baja concentración de ésta solución nutritiva en relación a la solución elaborada a partir de lombricompost y la solución comercial, demandó de mayores cantidades de materia prima para su preparación, así como de mayor tiempo y empleo de mano de obra para la implementación de los tres niveles de conductividad evaluados (ver cuadro 12). Sin embargo, al no ser utilizada la parte sólida de éste abono para la producción hidropónica con el sistema de raíz flotante, la mezcla de cascarilla de arroz, carbón molido, estiércol y

gallinaza puede ser utilizada como base para realizar cultivos orgánicos bajo el principio de sistemas hidropónicos con sustratos o bien como materia orgánica para reacondicionar la estructura de suelos arcillosos.

V.2.2. Implementación de la solución nutritiva de lombricompost

El uso de ésta solución con la concentración baja y media denotó deficiencias nutricionales y falta de crecimiento en el área foliar, mientras que la concentración alta mantuvo un balance entre el área foliar y radicular, siendo ésta última mayor en comparación al testigo comercial. En cuanto al manejo, resultó más simple que el manejo de la solución elaborada a partir de bokashi, pero más laboriosa en comparación con el testigo comercial, pues éste último requiere menor cantidad de mano de obra y tiempo para su preparación.

V.3. Contenido nutricional y características químicas de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost.

V.3.1 Contenido nutricional de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost

Se asume que la concentración de los elementos contenidos en las soluciones nutritivas de origen orgánico, expresadas en ppm en el análisis de laboratorio, está estrechamente relacionado al tipo de insumos utilizados para la realización de las soluciones nutritivas evaluadas. Los resultados de las muestras enviadas al laboratorio se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultado del análisis de laboratorio de las soluciones nutritivas de origen orgánico

Soluciones Nutritivas	Macronutrientes ppm				Micronutrientes ppm					*SD = Sin datos		
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	S	B	Mo
Té de bokashi	640	7758	3040	1905	570	3.01	350	53	21.2	SD	SD	SD
Té de lombricompost	553	486.5	2660	17.85	91	0.63	52	1.92	0.91	SD	SD	SD

Fuente: ANALAB (2006).

A pesar de que la concentración de elementos de una solución nutritiva puede ser variable, Rodríguez (2001) recomienda utilizar una solución nutritiva compuesta por fertilizantes comerciales según los niveles dados en el cuadro 13.

Cuadro 13. Concentración adecuada para utilizar una solución nutritiva concentrada.

Elementos (ppm)											
N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	S	B	Mo
190	35	200	150	45	0.05	3	0.5	0.1	32	0.56	0.006

Fuente: Rodríguez (2001)

Al comparar la cantidad de elementos contenidos en las soluciones nutritivas de origen orgánico con los niveles ideales propuestos por Rodríguez (2001), se observa que existen diferencias significativas que reflejan un exceso en la concentración de algunos elementos, así como un desbalance nutricional de las soluciones nutritivas de origen orgánico.

Conciente de que éstos factores pueden afectar el crecimiento de las plantas, no se realizó ningún tipo de corrección en relación a la recomendación de Rodríguez (2001), dado que se propuso para éste proyecto, realizar soluciones de origen orgánico utilizando insumos locales como materia prima y condiciones que no limiten el uso de los sistemas hidropónicos a nivel rural.

V.3.2 Características químicas de las soluciones nutritivas obtenidas a partir del abono tipo bokashi y lombricompost

Según Alarcón (2002), para realizar un diagnóstico correcto del cultivo hidropónico, debe tomarse en cuenta el nivel de nutrientes de la solución nutritiva aplicada y los parámetros químicos correspondientes a la solución del medio radicular. En este sentido, para el análisis de las características químicas de la solución nutritiva, se tomaron en cuenta los factores correspondientes a la solución del medio radicular, mismas que se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14. Características químicas de soluciones nutritivas de origen orgánico evaluadas

Soluciones Nutritivas	pH	Siemens/cm
Té de bokashi	6.8 -7.2	2900
Té de lombricompost	7 – 7.2	4000

Fuente: Tomado con el potenciómetro – conductímetro portátil.

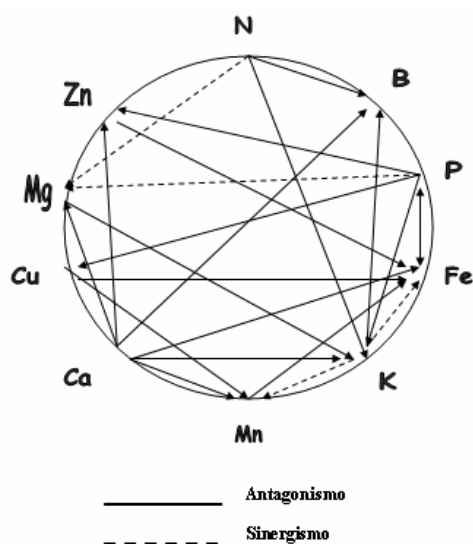
De acuerdo a los resultados expresados en la tabla 14, cabe mencionar que el exceso de calcio presente en las soluciones de origen orgánico, se puede asociar a un pH ligeramente alcalino, el cual produce deficiencias de Fe, Mg, Cu, B y Zn. (Rodríguez, 2001). Se asume que el pH neutral que se registró al final del experimento puede darse por la absorción en forma mayoritaria de cationes, con lo que la raíz libera H^+ para conservar el balance eléctrico, haciendo que el pH descienda respecto a la solución nutritiva sin necesidad de agregar ácidos para el efecto. Cuando la conductividad eléctrica es demasiado alta, reduce el movimiento del agua desde la solución a la raíz y además, puede haber efectos específicos por elemento, teniendo como consecuencia deficiencias marcadas, por tal motivo, fue necesario diluir la solución concentrada en agua.

Tratamiento	Siemens/cm	Elementos (ppm)								
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	1000	138.2	121.6	665	4.4	22	0.16	13	0.48	0.23
T2	1400	193.5	170.3	931	6.22	31	0.22	18.2	0.67	0.32
T3	1800	249	218.9	1197	8.00	40	0.28	23.4	0.86	0.41
T4	1000	224	2715	1064	667	20	1.00	122.5	18.55	0.32
T5	1400	313.5	3801	1490	934	28	1.4	171.5	26	0.45
T6	1800	403.2	4815	2682	1200	36	1.8	220.5	33.4	0.58
T7	1500	190	35	200	150	45	0.05	3.00	0.50	0.10

Cuadro 15. Cantidad de elementos contenidos en las soluciones nutritivas evaluadas.

Fuente: Cálculos realizados a partir de los análisis de laboratorio expresados en el cuadro 12.

Es evidente la diferencia que existe respecto a la cantidad de elementos que aporta cada solución nutritiva evaluada. A partir de el cuadro 15 vale la pena mencionar que la cantidad de elementos que aporta el testigo comercial (T7) es acorde a las necesidades del cultivo, mientras los tratamientos elaborados a partir de los abonos orgánicos tipo bokashi y lombricompost aportan en forma excesiva elementos como N, P, K y Ca. En este sentido resulta posible comprender las deficiencias mencionadas en la implementación de las soluciones orgánicas.



En la Figura 2. Se puede observar la relación que existe entre los elementos minerales esenciales para el desarrollo adecuado de la planta, mencionando el sinergismo y antagonismo que existe entre los estos.

Por ejemplo: Altas cantidades de K causan antagonismo al B y sinergismo al Fe y Mn; altas cantidades de P causan antagonismo en el Zn, Cu y K y sinergismo en el Mn; y altas cantidades de Mn causan antagonismo en el Fe.

Figura 2. Antagonismo y sinergismo entre elementos (Rodríguez, 2001).

Siguiendo la metodología recomendada por Rodríguez (2001) y de acuerdo a los valores expresados en el cuadro 15, se puede argumentar que las deficiencias nutricionales observadas en el área foliar, tales como clorosis en hojas jóvenes y maduras, así como falta de crecimiento a nivel foliar y radicular que expresó el cultivo con la aplicación de las soluciones nutritivas a base del abono orgánico tipo bokashi, se deben a elementos en exceso tales como P, K y Fe, además de una deficiencia de Ca y Mg.

Según Rodríguez (2002), el exceso de P puede causar deficiencia de Mg, Mn, Zn o Fe, elementos que manifiestan clorosis general tanto en hojas viejas como nuevas, así como trastornos y bloqueo en otros elementos como el K.

En relación a las deficiencias nutricionales y falta de crecimiento en el área foliar que mostró el cultivo con la aplicación de la solución nutritiva de origen orgánico a base de lombricompost, es válido argumentar que los altos valores en P y K, así como las deficiencias de Ca y Mg provocaron que el desarrollo de la planta quedara inhibido debido a falta de crecimiento en las hojas jóvenes, alteraciones en los tejidos de la hoja y aumento de merma en la producción.

Respecto al tercer tratamiento de lombricompost, manifiesta un exceso de K que se expresa con la deficiencia de elementos menores, en especial Mg. Asimismo, muestra una deficiencia de Ca, que se expresa con la malformación de hojas jóvenes, provocando mala calidad en el producto final.

V.4. Efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento y la calidad de lechuga en un sistema hidropónico.

V.4.1. Efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento de lechuga en un sistema hidropónico.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el rendimiento de hoja de lechuga en kg/m².

Fuentes de variación	gl	Suma de cuadros	Cuadrados medios	F Calculada 5%	F Tabulada 5%
Bloques	3	0,014	0,005	0,5 Ns	3,49
Tratamiento	4	26,72	6,68	683,55**	3,26
error	12	0,12	0,01		
Total	19	26,85			

Ns = No existe significancia estadística

** = Alta significancia estadística

El análisis de varianza para la variable del rendimiento de hoja de lechuga en Kg/m², denota que existe alta significancia al 5% entre tratamientos, lo cual indica que el comportamiento de los tratamientos es diferente, por lo que se realizó una prueba de comparación de medias conocida como diferencia significativa mínima (DSM) que dio como resultado de diferencia mínima un valor de 0.2 kg/m². Por medio de la prueba de rango múltiple de DUNCAN se determinaron las distintas diferencias significativas para cada tratamiento, datos que se muestran junto a los rendimientos del cultivo en la figura 3.

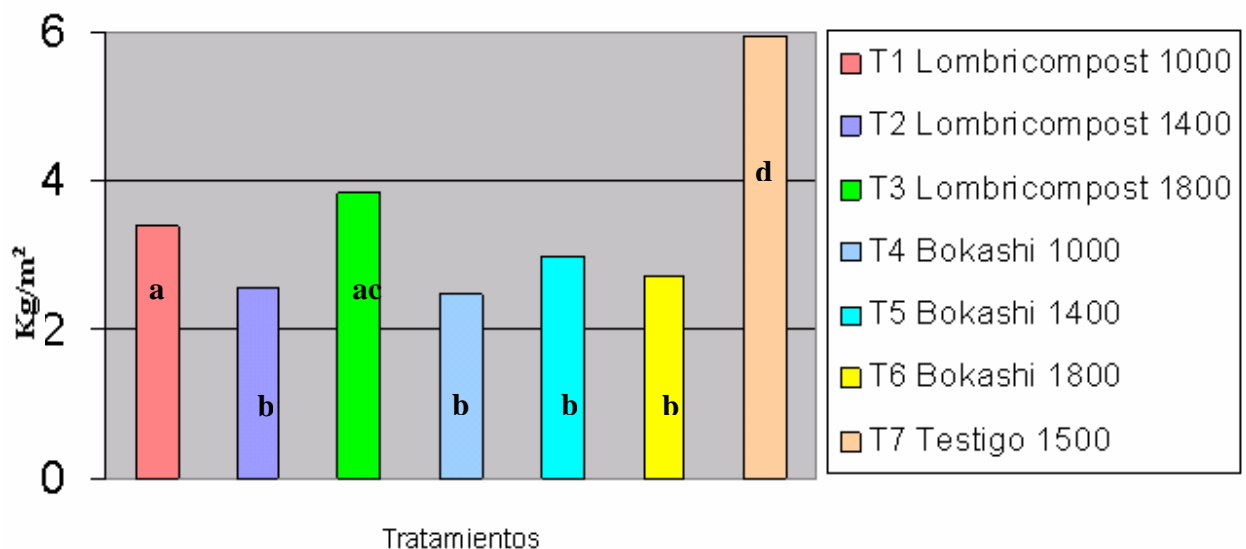


Figura 3: Efecto de las soluciones nutritivas sobre el rendimiento del cultivo hidropónico de lechuga y diferencias significativas para los tratamientos evaluados.

Es evidente que el mejor rendimiento se expresa con la utilización de la solución nutritiva testigo (T7), con un rendimiento de 5.95 kg/m^2 , mismo que fue obtenido gracias al balance nutricional que presenta ésta solución (ver cuadro 13). Es importante resaltar que la solución orgánica elaborada a partir del té de lombricompost con una conductividad eléctrica de 1800 siemens/cm (T3), logró un rendimiento de 3.83 kg/m^2 , durante un ciclo de cosecha de aproximadamente 40 días después del transplante (ddt), gracias a que sus componentes estuvieron mejor balanceados en relación a las otras soluciones orgánicas evaluadas.

Al realizar un análisis general de la producción, es notable que la solución nutritiva elaborada a base del abono orgánico tipo bokashi mostró en sus tres concentraciones, resultados por debajo del rendimiento del testigo. Estadísticamente, el tratamiento de lombricompost con una conductividad de 1400 siemens/cm no mostró diferencia significativa en relación a las soluciones nutritivas preparadas a partir de bokashi, por presentar rendimientos similares.

Las soluciones nutritivas elaboradas a base del abono tipo lombricompost con una conductividad de 1000 y 1800 siemens/cm no manifiestan diferencia significativa entre ellas, pero si en relación al resto de tratamientos de origen orgánico y al testigo. El tratamiento testigo, es estadísticamente distinto de todos los demás tratamientos evaluados con una probabilidad estadística del 5%.

Aunque la concentración alta de lombricompost muestra un rendimiento inferior al testigo, cabe mencionar que puede ser utilizada como base para preparar una solución balanceada, considerando insumos orgánicos que estén disponibles en la finca y la adhesión de fuentes orgánicas de Ca. Asimismo el exceso de K puede ser controlado con la elección correcta de la materia prima para realizar el lombricompost del que se extraerá la solución nutritiva a utilizar.

V.4.2. Efecto de las soluciones nutritivas sobre la calidad de la lechuga en un sistema hidropónico.

Según Morgan (1999), los factores considerados por el consumidor acerca de la calidad van desde el aspecto visual concerniente a la presentación e inocuidad, hasta los aspectos propios de la variedad respecto a la forma y el color. En éste sentido, la calidad del producto se evaluó de acuerdo a las normas comunes de calidad establecidas a nivel comercial por Bernard (1967) presentadas en el cuadro 17.

Cuadro 17. Categorías de calidad del producto obtenido de los tratamientos evaluados, de acuerdo a las normas comunes de calidad establecidas por Bernard (1967).

Código	Siemens / cm	Tratamiento	Color	Forma del cogollo	Altura (cm)	Defectos	Categoría
T1	1000	Lombricompost	Verde Normal	Abierto	17	Clorosis	II
T2	1400	Lombricompost	Verde Normal	Abierto	17	Clorosis	II
T3	1800	Lombricompost	Verde Normal	Cerrado	23	Clorosis en el 20% de las plantas	I
T4	1000	Bokashi	Verde claro	Abierto	17	Clorosis en hojas inferiores	II
T5	1400	Bokashi	Verde Normal	Abierto	12	Clorosis en hojas inferiores	II
T6	1800	Bokashi	Verde Normal	Abierto	16	Clorosis en hojas inferiores	II
T7	1500	Testigo Comercial	Verde Normal	Cerrado	27	Ninguno	I

En cuanto a la calidad del producto, se evaluó estrictamente el aspecto visual, obteniendo los mejores productos con el uso del té de lombricompost con una conductividad eléctrica de 1800 siemens/cm (T3) y la solución comercial (T7), clasificados dentro de la categoría “I” por estar bien formados, cerrados, apretados, exentos de ataques de parásitos animales, enfermedades y defectos que den mal aspecto visual y su comestibilidad, notándose una coloración y tamaño normal para su variedad. Se interpreta que la calidad del producto estuvo estrechamente relacionada al nivel adecuado de nutrientes respecto a las necesidades del cultivo, pues el resto de los tratamientos se encuentran dentro de la categoría “II” por presentar un ligero defecto en su coloración y un cogollo reducido dado por las deficiencias de distintos elementos que alteraron el crecimiento normal del cultivo. Vale la pena mencionar que los productos clasificados dentro de la categoría I se consideran como productos de primera calidad, aptos para ser empacados y vendidos a supermercados, hoteles y restaurantes. El 20% de clorosis de las plantas del T3 representa el 20% de pérdida directa sobre la utilidad. Los productos clasificados dentro de la categoría II tienen precios inferiores por ser de tamaño pequeño y presentar defectos visuales que los hacen poco atractivos para los consumidores.

V.5. Análisis económico

Se realizó con la finalidad de determinar cual de los tratamientos brindó mayor rentabilidad, para ello se obtuvieron los datos requeridos por el modelo matemático citado por Soberanis, (2002) expresados en cuadro 18. Los detalles de costos e ingresos que sirvieron de base para obtener la rentabilidad de cada tratamiento se expresan en el anexo 5.

Cuadro 18. Análisis económico para diferentes tratamientos de soluciones nutritivas de origen orgánico y la solución nutritiva testigo en el cultivo de lechuga.

Código	Siemens / cm	Tratamiento	Kg/m ²	Costo total de producción	Ingreso bruto	Ingreso neto	Rentabilidad (%)
T1	1000	Lombricompost	3,402	31,49	44,9064	13,41	42,61
T2	1400	Lombricompost	2,55	32,63	33,66	1,03	3,16
T3	1800	Lombricompost	3,82	33,58	50,424	16,84	50,16
T4	1000	Bokashi	2,47	38,35	32,604	-5,74	*NR -14,98
T5	1400	Bokashi	2,98	41,08	39,336	-1,74	*NR -4,25
T6	1800	Bokashi	2,72	43,54	35,904	-7,63	*NR -17,54
T7	1500	Testigo	5,95	31,59	78,54	46,95	148,62

*NR = Pérdida

**Precio promedio en el mercado = Q.13.20/kg de lechuga romana

En relación al cuadro 18 cabe mencionar que el costo total de producción es variado, pues la preparación de las soluciones nutritivas requiere de distintos materiales y cantidad de mano de obra para su preparación, siendo los más económicos la solución nutritiva testigo y la solución nutritiva de origen orgánico elaborada a base de abono tipo lombricompost, siendo recomendable, utilizar ésta última para la producción de lechugas orgánicas.

A fin de realizar un análisis comparativo de las variables económicas que definen la rentabilidad del producto obtenido de cada tratamiento evaluado, en la figura 4 se presenta la gráfica para cada tratamiento según su rentabilidad final.

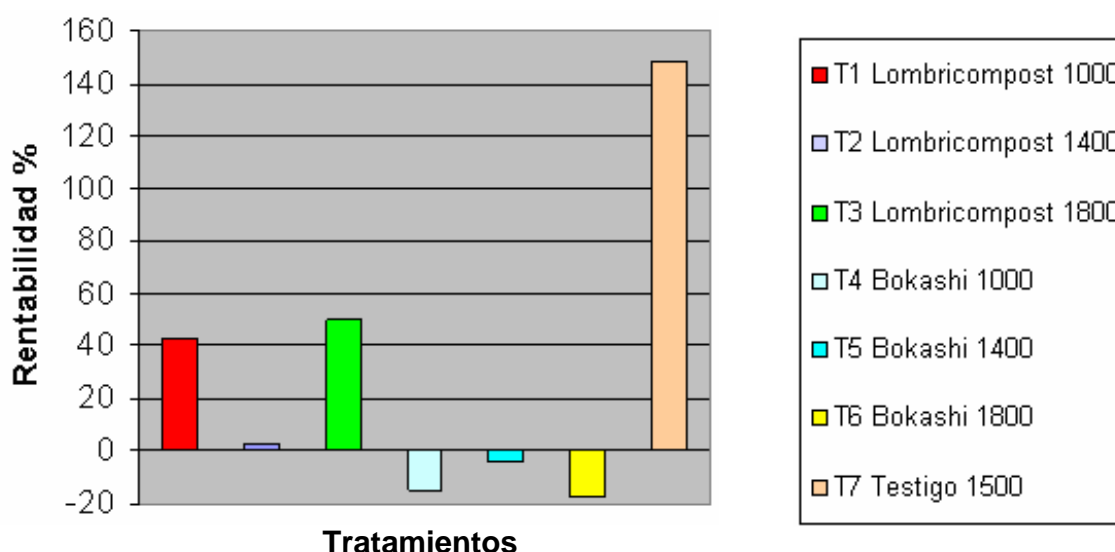


Figura 4: Gráfica para el análisis comparativo del porcentaje de rentabilidad del producto obtenido de cada tratamiento evaluado.

Las variables que finalmente determinaron la rentabilidad para cada tratamiento, están directamente relacionadas al costo total de producción (CTP) y al ingreso bruto obtenido por la venta del producto, tomando en cuenta el precio que pagan por este tipo de productos en el país. La diferencia entre una rentabilidad y la otra, radica en forma directa a la cantidad y calidad del producto final y al costo de producción, siendo el de mayor rentabilidad el tratamiento comercial (T7) con 148.62% de rentabilidad, dada por la cantidad y calidad de producto obtenido al final y a su bajo costo de producción.

Respecto a la mejor rentabilidad presentada por los tratamientos de origen orgánico, la solución nutritiva de lombricompost con una CE de 1800 Siemens/cm (T3), sobrepasa a sus similares con 42.61% de rentabilidad. No se recomienda el uso de los tratamientos 1, 4, 5 y 6, pues no representan rentabilidad al tener altos costos de preparación y no responder adecuadamente a los requerimientos de calidad y ganancia de peso. Un factor importante que se debe considerar en este sentido, es la pérdida que se tiene al momento del corte, clasificación y lavado del producto previo a su comercialización, ya que representa una disminución directa de la rentabilidad.

VI. CONCLUSIONES

1. Elaborar soluciones nutritivas de origen orgánico a partir de los abonos orgánicos tipo bokashi y lombricompost, es posible por medio de la elección adecuada de la materia prima con la que se realizará el abono orgánico, siempre que se considere la aplicación de insumos orgánicos para realizar la corrección de Ca y K desde el momento de preparar el abono.
2. El nivel adecuado de los nutrientes contenidos en la soluciones evaluadas estuvo estrechamente relacionado con las características de calidad de la lechuga.
3. La utilización de soluciones nutritivas balanceadas en cultivos hidropónicos permite obtener un producto con las características de calidad, que requiere el mercado. Los factores que determinan la calidad y rendimiento del producto, afectan directamente la rentabilidad del cultivo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Tomar como base la solución nutritiva elaborada a partir del abono tipo lombricompost, utilizando una conductividad eléctrica de 1800 siemens/cm, para el desarrollo del cultivo hidropónico orgánico de lechuga tipo romana, tomando en cuenta las correcciones planteadas.
2. No utilizar las soluciones orgánicas elaboradas a partir de bokashi, ya que en el presente experimento manifestaron un desbalance nutricional respecto a la concentración adecuada planteada por Rodríguez (2001), el cual se refleja en el desarrollo inadecuado del cultivo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón, A. (2002) Manejo de la disolución nutritiva y diagnóstico en cultivos sin suelo
Extracto del artículo publicado en la revista "VIDA RURAL".Parte I. Pág. 48-50 y Parte II.15/05/02. Pág. 52-54.
2. Álvarez, Palacios, Hoyos, Alcántar y Castillo. (2001). Biotechnificación de Solare Familiares de las Zonas Bajas Tropicales. México: Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.
3. Arano, C. (2004). "El ABC de la Hidroponía" (En Red).
Disponible en: <http://carlosarano.tripod.com.ar/>
4. Arano, C. (2004). "El ABC de la Hidroponía" (En Red).
Disponible en: <http://carlosarano.tripod.com.ar/>
5. Barros, P. (1998). ¿La Hidroponía? ¡Pero si es muy fácil! (En Red)
Disponible en: <http://geocities.com/Heartland/Shores/1545>.
6. Bernard M. (1967). La Lechuga: Cultivo y Comercialización (1ª. Ed.) (Traducción y adaptación García Palacios A) España: Oikos-tau.
7. Caldeyro, M. (2003). La Hidroponía Simplificada Uruguay: AQUAFOOD.
8. Cánovas, F. (1995). Manejo del cultivo sin suelo en: El cultivo del tomate. (1ª. Ed.) España: Mundi-Prensa.
9. Cardona, D. (1990). Diseños Experimentales. (1ª. Ed.). Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
10. Carrasco, G. e Izquierdo, J. (1996). La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante ("NFT").
(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Chile: Universidad de Talca.
11. Castañeda, F. (1997). Manual de cultivos hidropónicos populares: Producción de verduras sin usar tierra. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
12. Castañeda, F. (2001). Manual Técnico De Hidroponía Popular (Cultivos Sin Tierra).
(Versión electrónica) Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).
13. Cervantes, M. (2004). Abonos Orgánicos. (En Red)
Disponible en: <http://www.Agroinformación - Abonos Orgánicos.htm>
14. Chávez, Chávez y Anna. (2001). Lechugas hidropónicas (seminario). Universidad del Pacífico, Administración y contabilidad. EE.UU.

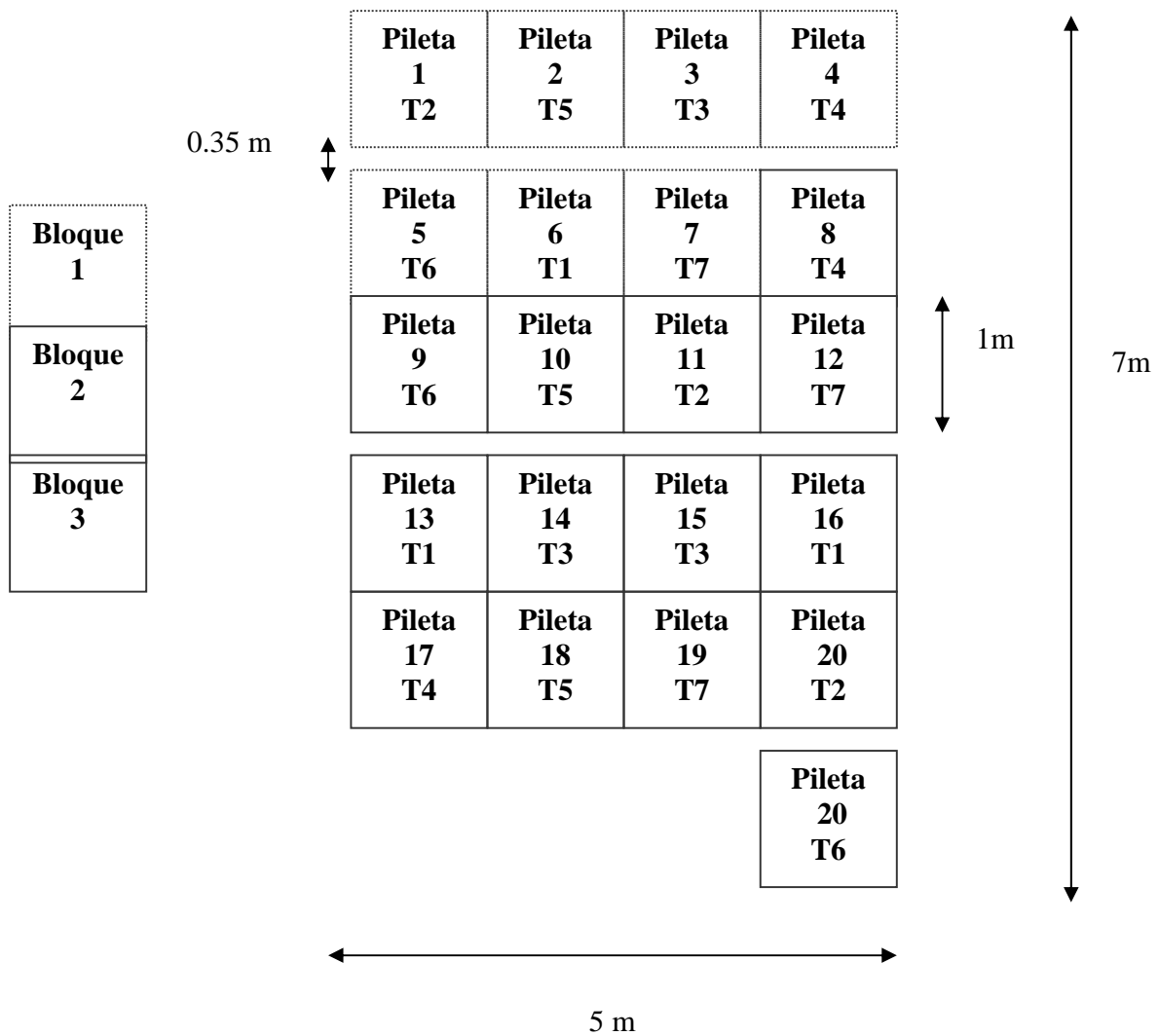
15. Coronel, A. (1 982). Preparación De Compost O Abono, Instructivo Técnico. Ecuador: PREDESUR.
16. Cruz, M. (2002). Elaboración de EM BOKASHI y su Evaluación en el Cultivo de Maíz Zea mays L., Bajo Riego en Bramaderos. (Tesis). Universidad Nacional de Loja, Ciencias Agrícolas. Ecuador.
17. Durany, C. (1982). Hidroponía – Cultivo de Plantas sin Tierra. España: Sintesis S.A.
18. Encarta (2005). Biblioteca de Consulta Microsoft. Microsoft Corporation.
19. Enríquez, C. (1 999). Elaboración de Bioabonos y su Evaluación en un Cultivar de Brócoli Brassica oleracea L., var. Botrytis en San Pedro de Vilcabamba. (Tesis). Universidad Nacional de Loja, Ciencias Agrícolas. Ecuador.
20. Erston V. (1967) Fisiología Vegetal. (1ª.ed.). México: Unión Tipográfica Hispano Americana S.A.
21. Fischersworring y Robkamp, (2001). Guía para la caficultura ecológica (3ª. Ed.) Perú: Editorial López.
22. García, J. (2003). Curso-Taller Producción de Insumos Orgánicos para el Control de Plagas, Enfermedades y la Nutrición Vegetal. Guatemala: INTECAP.
23. Godoy, A. (2001). Hidroponía, Cultivos Sin Tierra. (1ª.ed.). Guatemala: Litogres.
24. Guzmán, G. (2004) Hidroponía en Casa: Una actividad familiar Costa Rica: MAG.
25. Hernández, R. (2001) Libro Botánica On Line (En Red)
Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg>
26. IARNA, (2004) Perfil ambiental de Guatemala: informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala: Instituto de Incidencia Ambiental de la Universidad Rafael Landívar
27. Infoagro (2002). El cultivo de la lechuga. (En Red).
Disponible en: http://www.Agroinformación _ Lechuga_ Cultivo y manejo.htm
28. INCAP (2005). Manual de cultivos hidropónicos Populares. Guatemala: Autor
29. Infoagro (2004). La Lombricultura (En Red).
Disponible en: <http://www. Agroinformación - La Lombricultura.htm>
30. INSIVUMEH. (2004). Unidad de investigación y Servicios Meteorológicos. Guatemala: Instituto Nacional de Vulcanología de Guatemala.
31. Kuepper, Bachmann y Thomas (2004). Producción Orgánica de Lechugas de Especialidad y Verduras Para Ensalada. (En Red). Disponible en: <http://www.attra.ncat.org>

32. Lemus, J. (2000). Evaluación de fósforo natural, en tres distanciamientos de siembra de tres híbridos de lechuga (lactuca sativa l.) en dos épocas (seca y lluviosa), chimaltenango. (Tesis). Universidad Rafael Landívar, Ciencias Agrícolas. Guatemala.
33. Little y Hills, (1989). Métodos Estadísticos para la investigación en la agricultura. (2ª. Ed.) México: Editorial Trillas.
34. López, C. (2004). Evaluación de dos diferentes fuentes de lombricompost y una de abono orgánico tipo bokashi en el rendimiento de la papa (Solanum tuberosum L.) en San Lucas Sacatepéquez. (Tesis). Universidad Rafael Landívar, Ciencias Agrícolas. Guatemala.
35. MAGA, (2005) Aspectos de la producción Agropecuaria (Presentación). Viceministerio de Seguridad Alimentaria, MAGA. Guatemala.
36. Marulanda e Izquierdo. (2003). La Huerta Hidropónica Popular (3ª. Ed.). (Ampliada y revisada). Chile: FAO.
37. Moreno, U. (1967) Manual de Laboratorio para el Estudio de la Fisiología de la Plantas. U.N.A. La Molina. Perú.
38. Morgan, L. (1999). El cultivo Hidropónico de lechugas. (traducido por Roger Domingo). Australia: Casper Publications Pty Ltd.
39. Organización Panamericana de la Salud (2005). Boletín No. 4, julio-agosto 2005 Guatemala: Autor.
39. Puppi N. y Ramírez j. (2001) Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2000, Dirección Nacional de Fiscalización Agroalimentaria, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), Buenos Aires, Argentina.
40. Resh, H. M. (1982). Cultivos Hidropónicos (1ª.ed.) España: Mundi Prensa Libros S.A.
41. Resh, H. M. (1997). Cultivos Hidropónicos (4ª.ed.) (Revisada y ampliada Carlos de Juan) España: Mundi Prensa Libros S.A.
42. Rodríguez, D. (2001). Soluciones Nutritivas en Hidroponía. Perú: CIHNM. UNALM.
43. Rodríguez, A. (2002). Manual Práctico de Hidroponía. (3ª.ed.). Perú: CIHNM. UNALM.
44. Samayoa, E. (Febrero, 1992). Análisis de rentabilidad y tasa marginal de retorno Boletín informativo AGRO. pp. 4-5

45. Saravia, M. (1994). Olericultura. (1ª. Ed.). Guatemala: Universidad Rafael Landívar. PROFASR.
46. Shintani, M. (2 000). Manejo de desechos de la Producción Bananera. Bokashi: Abono Orgánico fermentado. Perú: Revista El Agro. pp. 20-65
47. Sistema de Naciones Unidas (2003). Situación de la seguridad alimentaria nutricional en Guatemala de 1991-2002. (Portada, Cap I y II, Cap III, Cap IV, Cap V y VI). Guatemala.
48. Soberanis, R. (2002) Respuesta del Cultivo de Maní (Arachis hypogea L) a la Fertilización Orgánica en San Miguel Chicaj, Baja Verapaz. Guatemala. Tesis – Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar.
49. Solano, K. (2002) Producción de papa con aplicación de abonos orgánicos (I Congreso Nacional de Agricultura Conservacionista). Costa Rica.
50. Soto, G. (2003). Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. (1ª. Ed.). Costa Rica: FIDA, RUTA, CATIE y FAO.
51. Soto, G. (2005). Abonos orgánicos para la producción sostenible de tomate. (En Red). Disponible en: http://www_catie_ac_cr_Home.htm
52. Suquilanda, M. (1 999). Agricultura Orgánica. Perú. FUNDAGRO.
53. Vivanco, A. (1998). Elaboración de EM bokashi y su evaluación en el cultivar maíz, bajo riego en Zapotillo. (Tesis) Universidad Nacional de Loja, Ciencias Agrícolas Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Croquis de campo del área de trabajo y distribución aleatoria de los tratamientos.



Área experimental: 5 x 7 m = 35 m²

Anexo 2. Cronograma de las actividades realizadas para el presente experimento

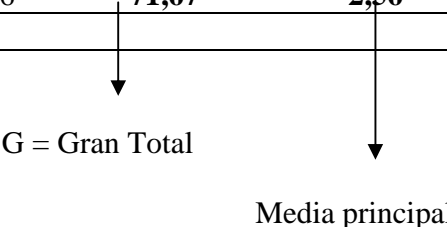
Actividades	Enero			Febrero				Marzo					Abril				Mayo				Junio	
Aprobación de Proyecto	X	X	X																			
Limpieza de piletas				X	X	X																
Elaboración de soluciones nutritivas				X	X	X	X	X														
Siembra								X														
Preparación de unidades experimentales								X	X	X												
Transplante												X										
Recolección de información													X	X	X	X	X					
Cosecha																	X					
Tabulación de resultados																		X	X			
Presentación de Resultados																					X	X

Anexo 3. Resultado del análisis químico de las soluciones nutritivas de origen orgánico evaluadas. Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de Anacafé (Analab). 2006.

Anexo 4. Análisis estadístico

Anexo 4.1. Rendimientos de lechuga expresados en kg/m² y agrupados por tratamiento y por bloque.

	Tratamiento	I	II	III	Sumas totales (T)	Medias (T)
1	T1	3,45	3,4	3,356	10,206	2,5515
2	T2	2,4	2,52	2,73	7,65	1,9125
3	T3	3,9	3,75	3,81	11,46	2,865
4	T4	2,45	2,48	2,48	7,41	1,8525
5	T5	2,85	2,97	3,11	8,93	2,2325
6	T6	2,7	2,8	2,66	8,16	2,04
7	T7	6	5,85	6	17,85	4,4625
	Sumas totales B	23,75	23,77	24,146	71,67	2,56
	Medias (B)	3,39	3,40	3,45		



Anexo 4.2. Análisis de varianza de los tratamientos evaluados para el presente experimento

Fuentes de variación	Gl	Suma de cuadros	Cuadrados medios	F Calculada	F tabulada 1%	F tabulada 5%
Bloques	3	0,014	0,005	0,5	5,95	3,49
Tratamiento	4	26,72	6,68	683,55	5,41	3,26
Error	12	0,12	0,01			
Total	19	26,85				

** Valor altamente significativo al 5%

Valores obtenidos por medio del análisis de varianza (ANDEVA) según el procedimiento indicado por Little y Hills, (1989) con un factor de corrección de 244.57.

Anexo 5. Análisis económico

Anexo 5.1. Datos para el análisis económico

Tratamiento (Kg/m ²)		Costos de producción										*** (Kg/m ²) X Q13,2		0		(%)	
Código	Rendimiento Promedio	*Inversión	Pilón	Agua / m ²	**SN/m ²	Mano de Obra/m ²	CTP	Ingreso Bruto	Ingreso Neto	Rentabilidad							
T1	3,402	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 3,8	Q 10	Q 31.49	44,9064	13,41	42.58							
T2	2,55	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 4,94	Q 10	Q 32,63	33,66	1,03	3.16							
T3	3,82	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 5,89	Q 10	Q 33,67	50,424	16,754	49.76							
T4	2,47	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 10,66	Q 10	Q 38.35	32,604	-5,746	-14.9							
T5	2,98	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 13,39	Q 10	Q 41.08	39,336	-1,744	-4.25							
T6	2,72	Q 14.27	Q 3	Q 0,42	Q 15,85	Q 10	Q 43.54	35,904	-7,636	-17.54							
T7	5,95	O 14.27	O 3	O 0,42	O 3,9	O 10	O 31,59	78,54	46,95	148.62							

* Inversión por ciclo/unidad experimental = $\frac{Q3596.04}{12 \text{ meses}} = \frac{Q299.67 \text{ mensuales}}{21 \text{ unidades}} = 14.27$

** Solución Nutritiva

*** Precio promedio en el mercado = Q13,20 kg de lechuga Romana

El costo de producción total (CTP) se obtuvo de: Sumatoria de costos por m² obtenidos para el experimento (Anexo 6.2) más la inversión inicial (Anexo 6.3) dividida dentro de 12 ciclos de producción y 21 unidades experimentales para obtener los datos en costo/m².

Referencia: El costo de producción en el suelo va desde Q0.90 hasta Q1.50

Anexo 5.2. Costos de producción obtenidos para el experimento: Efecto de dos soluciones nutritivas orgánicas sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. *Var. longifolia*) en hidroponía (2006)

Concepto	Cantidad	Precio Unitario	Valor Total
Agua	m ³		
Agua	3	3.00	9.00
		Sub total	9.00
Soluciones nutritivas	L		
Bokashi	292	*0,41	119,72
Lombricompost	231	*0,19	43,89
INCAP	0,9	*13.00	11,7
		Sub total	175,31
Pilones	Pilones		
Paris Island	630	0,10	63
		Sub total	63
		TOTAL	247,31

* El costo de cada solución fue obtenido de los costos para preparar cada solución (Anexo 6.2.1) multiplicado por la cantidad de solución nutritiva utilizada en el experimento. (Anexo 6.2.2)

Anexo 5.2.1. Costos para la preparación de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento: Evaluación de soluciones nutritivas de origen orgánico sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. *longifolia*) en hidroponía. (2006)

Costo de preparación de las soluciones nutritivas

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor Total
BOKASHI ---- Q ----				
Materiales				
Cascarilla de arroz	1	saco	12	12
Carbón molido	0,5	saco	5	2,5
Tapa Panela	1	tapa	10	10
Levadura	4	Onza	0,35	1,4
Estiércol vacuno	100	libras	0,05	5
Desechos de lechuga	50	libras	0	0
Gallinaza	1	quintal	30	30
Sub total				60,9
Mano de obra				
Preparación bokashi	1	hora	7	7
Volteos diarios	7	hora	7	49
Preparación Solución	2	hora	7	14
Total de Mano de obra				Sub total 70
				*Total 130,9
Lombricompost				
Materiales				
Lombricompost	1	quintal	30	30
Sub total				30
Mano de obra				
Preparación Solución	1	hora	7	7
				** Total 37
Solución				
INCAP				
Kit de solución A y B	1	kit	13	13
				*** Total 13

* El costo total expresado está dado para preparar 320 l de solución concentrada

** El costo total expresado está dado para preparar 160 l de solución concentrada

*** El costo total expresado está dado para preparar 333 l de solución concentrada

Anexo 5.2.2. Cantidad de solución nutritiva concentrada utilizada en el experimento: **Efecto de dos soluciones nutritivas orgánicas sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. *longifolia*) en hidroponía (2006)**

Tratamiento	CE	l agua/Pila	cc/l	l SN/pila	Pilas	l agua+Sn	l SN Total
T1	1000	80	250	20	3	100	60
T2	1400	74	350	25,9	3	100	78
T3	1800	69	450	31,032	3	100	93
TOTAL							231
T4	1000	74	350	26	3	100	78
T5	1400	67	490	33	3	100	98
T6	1800	61	630	39	3	100	116
TOTAL							292
T7	1500	99,7	3	0,30	3	100	0,9

Anexo 5.3. Inversión inicial para el desarrollo del experimento: Efecto de dos soluciones nutritivas orgánicas sobre el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. *Var. longifolia*) en hidroponía (2006)

Inversión Inicial para un área de 35 m²
(Cifras expresadas en quetzales)

Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Valor Total
Materiales de construcción				
Clavos de 3 pulgadas	3	libra	4,5	13,5
Clavos de 4 pulgadas	1	libra	4,5	4,5
Clavos de 6 pulgadas	1	libra	5	5
Grapas	1	Caja	7	7
Materiales de Construcción				30
Madera				
parales Usados de 2"x3"x2.5mtrs	30	parales	10	300
Pino cepillado 1/2"x1x7"	91	pies	0,6	54,6
Pino cepillado 1/2"x1x6"	66	pies	0,6	39,6
Madera				394,2
Plástico				
Nylon de 3x10 mtrs x 5mm de grosor	35	m	7	245
Plástico				245
Mano de Obra				
Mano de obra de construcción	35	m ²	15	525
Total de Mano de obra				525
Construcción de Camas				
Grapas	1	Caja	7	7
Mano de obra	10	horas	7	70
Construcción de Camas				252
Material para producción				
Plástico negro	25	M	7	175
Duroport	42	planchas	6,9	289,8
Vasitos de 1,6 onzas para colocar pilones	630	Vasos	0,07	44,1
Total Material para producción				508,9
Instrumentos de medición				
Medidor pH/EC impermeable	1	medidor	1151,44	1151,44
Instrumentos de medición				1151,44
Recipientes				
Toneles plásticos	2	Toneles	75	150
Pichel plástico con medidas	1	Pichel	10	10
Total Recipientes				160
Subtotal				3266,54
Imprevistos 10%			0,1	326,654
Total General			Q	3593,194
Nota: La vida útil de la estructura, las camas, los materiales para producción, los recipientes y el medidor es de 1,5 años, o sea 12 ciclos de producción				