

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE DOSIS DE CALDO DE HUMUS DE LOMBRIZ EN DOS
SISTEMAS HIDROPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca
sativa L.*) EN AMBIENTE PROTEGIDO**

MERY CALSINA CHURATA

La Paz - Bolivia

2015

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE DOSIS DE CALDO DE HUMUS DE LOMBRIZ EN DOS
SISTEMAS HIDROPÓNICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca
sativa L.*) EN AMBIENTE PROTEGIDO**

*Tesis de Grado Presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

MERY CALSINA CHURATA

ASESORES:

Ing. Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

COMITÉ REVISOR:

Ing. M.Sc. Eduardo Chilón Camacho

Ing. M.Sc. Erik Murillo Fernández

Ing. Bernardo Ticona Contreras

APROBADA

Presidente tribunal examinador



DEDICATORIA

A mi madre Marcelina Churata Yana, por darme la vida, por sus miles de cuidados, por sus alentadores consejos y por su ayuda ilimitada.

A mi padre Roberto Calsina Yujra, por su apoyo económico ya que a pesar de las carencias y dificultades has realizado tu máximo esfuerzo por sacarnos adelante.

A mis hermanos, por haber compartido conmigo cada momento, por creer en mí y apoyarme.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida, por darme la oportunidad de haberme formado como profesional en la Universidad Mayor de San Andrés a través de un grupo de profesionales docentes de la Facultad de Agronomía.

A mis queridos padres y hermanos que siempre me han apoyado en el transcurso de mi vida y mis estudios, por su apoyo constante hasta la finalización de este trabajo.

A mis asesores: Ing. Wilfredo Blanco Villacorta e Ing. Freddy Carlos Mena Rivera, por su valiosa asesoría y por darme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación la cual nos permitió concluir satisfactoriamente uno de mis más grandes anhelos, además por el apoyo y el tiempo empleado en todos los momentos del desarrollo de la investigación.

A mis amigos (as) de la carrera con quienes conviví la mayor parte de mi tiempo de estudio gracias por su confianza, apoyo incondicional, consejos y su bella amistad.

A los miembros del tribunal revisor: Ing. M.Sc. Eduardo Chilón Camacho por colaborar con sus correcciones sugeridas y sabia orientación. Al Ing. M.Sc. Erik Murillo Fernández por todo el apoyo brindado con sus observaciones y sugerencias realizadas. A sí mismo al Ing. Bernardo Ticona Contreras por las correcciones realizadas y por su conocimiento al presente trabajo de investigación.

Agradecer especialmente a Institución FOCAPACI (Centro de Formación y Capacitación para la Participación Ciudadana) por el financiamiento en la ejecución de este trabajo investigativo, ya que es una institución enfocada a la Agricultura Urbana, y por toda la ayuda que me brindaron tanto en los materiales como en la asesoría y por su valioso tiempo dedicado a este trabajo de tesis.

INDICE GENERAL

Pág.

INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1. SISTEMA	3
2.1.1. Sistema de producción	3
2.1.2. Sistema de producción agrícola	3
2.2. CULTIVO HIDROPÓNICO.....	4
2.2.1. Origen del cultivo hidropónico	5
2.2.2. Sistemas de producción hidropónica.....	5
2.2.2.1. Sistemas hidropónicos con sustrato líquido	6
2.2.2.2. Sistema hidropónico de raíz flotante	6
2.2.2.3. Técnica del cultivo con flujo lamiar de nutrientes (NFT).....	6
2.2.2.4. Sistemas hidropónicos con sustrato solido	7
2.2.3. Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos.....	7
2.2.4. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas	8
2.2.4.1. Nitrógeno	8
2.2.4.2. Fósforo	9
2.2.4.3. Potasio	9
2.2.5. Solución nutritiva	10
2.2.5.1. pH de la solución nutritiva	10
2.2.5.2. Conductividad eléctrica	11
2.2.5.3. Calidad de agua	11
2.2.5.4. Oxigenación de la solución nutritiva.....	12
2.3. LOMBRIZ CALIFORNIANA (EISENIA FETIDA).....	12

2.3.1. Clasificación taxonómica de la lombriz.....	12
2.3.2. Evolución.....	13
2.3.3. Anatomía y fisiología de la lombriz.....	13
2.3.4. Biología de la lombriz.....	16
2.3.5. Humus de lombriz o Vermicomposta.....	17
2.3.5.1. Características y composición del humus de lombriz.....	17
2.3.5.2. Beneficios del humus de lombriz.....	18
2.5. CULTIVO DE LECHUGA (LACTUCA SATIVA)	20
2.5.1. Origen e importancia	20
2.5.2. Morfología	20
2.5.3. Sistemática.....	21
2.5.4. Adaptación Climática.....	22
2.5.5. Temperatura.....	22
2.5.6. Valor nutricional.....	23
2.5.7. Enfermedades y Plagas	23
2.5.7.1. Enfermedades.....	23
2.5.7.2. Plagas	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. LOCALIZACIÓN.....	25
3.2. MATERIALES	26
3.2.1. Material Vegetal y biológico.....	26
3.2.2. Materiales de campo	26
3.2.3. Material de laboratorio.....	26
3.2.4. Material de gabinete.....	26
3.3. METODOLOGÍA	27
3.3.1. Trabajos preliminares.....	27
3.3.1.1. Elaboración de humus de lombriz.....	27
3.3.1.2. Características físicas y químicas del caldo de humus de lombriz...	28
3.3.2. Procedimiento experimental.....	30
3.3.2.1. Construcción de los contenedores	30
3.3.2.2. Impermeabilización de los contenedores	30
3.3.2.3. Perforado del Poliestireno (Plastaformo) y Tubo de PVC.	31
3.3.2.4. Armado del sistema en tubo PVC	31
3.3.2.5. Ubicación de los contenedores y tubos PVC	32
3.3.2.6. Almacigo	32

3.3.2.7. Trasplante y Densidad de siembra.....	32
3.3.2.8. Esponja.....	33
3.3.2.9. Preparación caldo de humus de lombriz.....	34
3.3.2.10. Preparación de solución (Marulanda, 2003).....	35
3.3.2.11. Prácticas culturales.....	35
3.3.2.12. Cosecha.....	37
3.3.3. Diseño experimental.....	38
3.3.3.1. Modelo estadístico.....	38
3.3.3.2. Factor de estudio.....	39
3.3.3.3. Tratamientos.....	39
3.3.3.4. Croquis experimental.....	40
3.3.3.5. Características y medidas del ambiente atemperado.....	41
3.4. VARIABLES DE RESPUESTA.....	41
3.4.1. Variables Agronómicas.....	41
3.4.2. Variables económicos.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	45
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS TEMPERATURAS REGISTRADAS DURANTE EL DESARROLLO DEL CULTIVO.....	45
4.2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS.....	46
4.2.1. Altura de la planta.....	46
4.2.2. Número de hojas.....	50
4.2.3. Diámetro de roseta.....	54
4.2.4. Peso fresco de la planta.....	57
4.2.5. Peso seco de la planta.....	60
4.2.6. Rendimiento de materia verde en (kg/m ²).....	61
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	64
4.3.1. Rendimiento ajustado.....	64
4.3.2. Número de campañas por año.....	65
4.3.3. Beneficio Bruto.....	66
4.3.4. Costos variables.....	66
4.3.5. Costos fijos.....	67
4.3.6. Costos totales.....	67
4.3.7. Beneficio Neto.....	68
4.3.8. Relación Beneficio / Costo (Bs/año).....	69

4.3.9. Análisis de dominancia.....	70
4.3.10. Curva de beneficio neto.....	70
4.3.11. Tasa de retorno marginal	71
V. CONCLUSIONES	72
VI. RECOMENDACIONES	73
VII. BIBLIOGRAFIA	74
VIII.ANEXOS	79

INDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 1. Componentes de la solución nutritiva (Marulanda, 2003)	10
CUADRO 2. Clasificación taxonómica de la lombriz (<i>Eisenia fetida</i>).....	12
CUADRO 3. Clasificación taxonómica de la lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	21
CUADRO 4. Contenido nutricional de la lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	23
CUADRO 5. Elaboración de humus de lombriz	28
CUADRO 6. Preparación de caldo de humus de lombriz	34
CUADRO 7. Factores de estudio.....	39
CUADRO 8. ANVA para altura de planta a la cosecha de la lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>)	46
CUADRO 9. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable altura de planta (cm), efecto de dosis.....	46
CUADRO 10. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para altura de planta.....	47
CUADRO 11. ANVA para número de hojas a la cosecha de la lechuga (Transformación $(x + 1)$).....	50
CUADRO 12. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable número de hojas, efecto de dosis	51
CUADRO 13. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para número de hojas por planta	51
CUADRO 14. ANVA para diámetro de roseta a la cosecha de lechuga.....	54
CUADRO 15. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable diámetro de roseta (cm), efecto de dosis.....	54
CUADRO 16. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para diámetro de roseta	55
CUADRO 17. ANVA para peso fresco de la lechuga	57
CUADRO 18. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable peso fresco de planta (gramos), efecto de sistemas	57

CUADRO 19. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable peso fresco de planta (gramos), efecto de dosis	58
CUADRO 20. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para peso fresco de la lechuga	58
CUADRO 21. ANVA para rendimiento de materia verde (kg/m ²)	61
CUADRO 22. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable rendimiento de materia verde (kg/m ²), efecto de sistemas	61
CUADRO 23. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable rendimiento de materia verde (kg/m ²) efecto de dosis	62
CUADRO 24. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para rendimiento de materia verde (kg/m ²)	62
CUADRO 25. Rendimiento ajustado por una campaña	65
CUADRO 26. Beneficio bruto anual	66
CUADRO 27. Costos variables por tratamientos Bs/año	67
CUADRO 28. Costos fijos por tratamientos	67
CUADRO 29. Costos totales por tratamientos	68
CUADRO 30. Beneficios netos anuales	68
CUADRO 31. Beneficio /costo anual	69
CUADRO 32. Análisis de dominancia	70
CUADRO 33. Análisis de tasa de retorno marginal	71

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Órganos de la lombriz	14
FIGURA 2. Segmentos o anillos de la lombriz.....	14
FIGURA 3. Pared del cuerpo de la lombriz.....	15
FIGURA 4. Ubicación del trabajo de investigación	25
FIGURA 5. Inoculación de las lombrices	27
FIGURA 6. Humus de lombriz	27
FIGURA 7. Armado de bandejas	30
FIGURA 8. Lijado de las bandejas	30
FIGURA 9. Armado del sistema en tubos PVC	31
FIGURA 10. Almácigo de la lechuga	32
FIGURA 11. Trasplante de plantines	33
FIGURA 12. Cubo de esponja	33
FIGURA 13. Aplicación de solución FAO	35
FIGURA 14. Oxigenación de la solución en bandeja flotante	36
FIGURA 15. Oxigenación en sistema tubos PVC	36
FIGURA 16. Proceso de pesado de la planta.....	38
FIGURA 17. Distribución de las unidades experimentales	40
FIGURA 18. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo.....	45
FIGURA 19. Interacción de sistemas y dosis para altura de planta	48
FIGURA 20. Interacción de sistemas y dosis para número de hojas por planta ...	52
FIGURA 21. Interacción de sistemas y dosis para diámetro de roseta de lechuga	56
FIGURA 22. Interacción de sistemas y dosis para peso fresco de planta	59
FIGURA 23. Interacción de sistemas y dosis para rendimiento de materia verde..	63
FIGURA 24. Beneficio neto por tratamientos.....	68
FIGURA 25. Beneficio/costo por tratamiento.....	69
FIGURA 26. Curva de beneficios netos.....	71

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en FOCAPACI (Centro de Formación y Capacitación para la Participación Ciudadana), Ciudad de El Alto (Villa Juliana), situado a una altura de 4014 m.s.n.m., en las Coordenadas 16°31'48" de latitud sur y a 68°11'559" de longitud oeste. El objetivo fue evaluar dosis de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Los tratamientos evaluados fueron: T1= Bandeja flotante, solución FAO (testigo), T2= Bandeja flotante, 1:3 humus de lombriz, T3=Bandeja flotante, 1:4 humus de lombriz, T4= Tubo PVC, solución FAO (testigo), T5= Tubo PVC, 1:3 humus de lombriz, T6= Tubo PVC, 1:4 humus de lombriz, en diseño completamente al azar con dos factores y tres repeticiones, se evaluó mediante análisis de varianzas, prueba de Tukey ($p=0,05$) y análisis de efecto simple por presentar significancia en la interacción de sistema * dosis.

Comparando los dos sistemas de producción hidropónica en dosis de caldo de humus de lombriz y testigo (solución FAO) los mejores rendimientos se obtuvieron en el T6 sistema de Tubo PVC, con la dosis 2 (1:4) con un promedio de 3,629 kg/m², en comparación al sistema de bandeja flotante (solución FAO), que presentó un rendimiento de 3,380 kg/m².

Los sistemas de producción hidropónica, presentaron diferencias en la altura de la planta, el T1 Bandeja flotante (solución FAO) presentó la mayor altura con un promedio de 30,3 cm frente al T6 Tubo PVC (1:4) que presentó un promedio de 25,2 cm.

En cuanto al diámetro de roseta en el sistema de bandeja flotante, el testigo presentó el mayor valor con un promedio de 31,1 cm seguido por el sistema de tubo PVC (1:4) con un promedio de 30,6 cm en comparación a los demás.

En lo que respecta al número de hoja, el T1 Bandeja flotante (solución FAO) presentó, el mayor número de hojas con un promedio de 14 hojas, superando a los otros tratamientos.

A través del análisis económico parcial realizado por un año en 1.000m² con 5 campañas, estableció que el T6 Tubo PVC (1:4) presento la mejor opción de producción con un beneficio neto de 137.066 Bs/año, con una relación B/C de 5,19. Un beneficio neto bajo el T1 Bandeja flotante (solución FAO) 115.195 Bs/año, con la relación B/C de 3,12; se refleja una tasa de retorno marginal del 209% al cambiar de costos entre los tratamientos T1 a T6, lo que significa que por cada boliviano invertido por el tratamiento alternativo, el productor puede obtener un retorno adicional de 2,09 Bs más.

I. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es un método con el que se pueden producir hortalizas de rápido crecimiento, ricas en elementos nutritivos, que contribuyan a mejorar la dieta alimenticia familiar, así como no es prescindible del recurso suelo como sustrato, a la vez que pueden cultivarse en forma intensiva en espacios reducidos dentro de la misma vivienda, porque se requiere pequeños volúmenes de agua.

La producción de lechugas es importante en nuestro medio sobre todo en la alimentación de las familias desde el punto de vista nutritivo y balance dietético con otros alimentos. Esta hortaliza habitualmente es consumida como ensalada fresca, su venta permite generar ingresos dentro de la cadena de producción por su mayor demanda en el mercado.

En la ciudad de El Alto Bolivia, como en todas las ciudades del Estado Plurinacional existen muchas zonas o regiones urbanizadas periféricas donde se asientan grandes cantidades de gente ya sea por la migración del campo a la ciudad o por el crecimiento demográfico. Estos habitantes, generalmente de escasos recursos económicos adquirieron lotes de terrenos de inmobiliarias comerciales que accedieron por crédito o al contado en precios accesibles a sus ingresos o a sus ahorros, posteriormente construyeron su vivienda en un espacio reducido contando con un patio bastante amplio. Esta disponibilidad de espacio permite que diferentes vecinos accedan a la construcción de ambientes protegidos para producir alimentos vegetales en forma permanente, o sea todo el año, lo que significa un ahorro en su economía ya que no tendrán que comprarlos; a su vez mejoran su alimentación, con posibilidades de tener pequeños ingresos vendiendo los excedentes.

Esta forma de producción llega a denominarse como agricultura urbana cuyo principal objetivo es la producción orgánica en pequeños espacios para contribuir a la seguridad alimentaria familiar. Entonces es obligatorio e imprescindible que cada productor urbano genere su propio abono utilizando los desechos vegetales domésticos, así como prácticas de producción de abonos orgánicos como el

compost y la cría de lombrices, para contribuir a una producción orgánica, intensiva y sostenible.

Ante este panorama, surgen las bondades del cultivo hidropónico, como una alternativa a la agricultura urbana, al cual si añadimos los conocimientos del uso de abono orgánicos, se puede dar condiciones para realizar cultivos verticales, maximizando el uso de suelo.

Por lo tanto, la presente investigación se realizó, con la idea de conocer los efectos del uso de la técnica sistema hidropónico en la producción de hortalizas orgánicas utilizando el humus de lombriz como fuente de nutrientes cambiando la forma tradicional y dependiente del uso de fertilizantes sintéticos químicos, sin causar algún daño al medio ambiente. Con el objetivo de generar información para difundir los resultados obtenidos que puedan ser aplicados como alternativa para el agricultor boliviano.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar dosis de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*lactuca sativa* L.) en ambiente protegido.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de dosis de caldo de humus de lombriz en las variables agronómicas del cultivo de lechuga en dos sistemas hidropónicos.
- Determinar los costos parciales por tratamiento.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. Sistema

Se define como sistema, un arreglo de componentes físicos; un conjunto de objetos y fenómenos, con entradas y salidas, que interactúan o se interrelacionan entre si y actúan como una sola entidad, o un todo (Nájera, M *et al.* 1998).

Todo sistema tiene una estructura que se relaciona con el arreglo de los componentes que lo forman y tienen una función relacionada al modo como actúa el sistema. La estructura de un sistema depende de las siguientes características relacionadas como los componentes del sistema: número de componentes, tipo de componentes y orden o arreglo entre componentes.

2.1.1. Sistema de producción

Saravia (1985), citado por Blanco (2013) considera que la investigación de sistemas sigue una secuencia de fase (en el tiempo) y pasos (metodológicos) que para algunos autores toma la forma de una matriz en la cual cada elemento representa una actividad que culmina la síntesis del sistema.

Gastal (1977), dice que un sistema esta dinámicamente relacionado con el medio externo, es decir, continuamente sujeto a mudanzas.

2.1.2. Sistema de producción agrícola

Saravia (1985), citado por Blanco (2013) sostiene que un sistema agrícola deberá incluir los siguientes conceptos:

- **Un propósito:** aquel por el cual el sistema es operado.
- **Una frontera:** que marca que está dentro del sistema y que esta fuera.
- **El contexto:** es decir, el ambiente externo en el cual funciona el sistema.
- **Los componentes:** principales constituyentes que aparecen relacionados para formar el sistema.
- **Las interacciones:** o sea, las relaciones entre los componentes.

- **Los recursos:** componentes comprendidos en el sistema y que son utilizados para su funcionamiento.
- **Los insumos o aportes:** empleados por el sistema pero que tienen origen externo al mismo.
- **Los productos.** El resultado esperado de la operación del sistema.
- **Los subproductos:** productos útiles aunque obtenidos accidentalmente

2.2. Cultivo Hidropónico

El término significa cultivar plantas sin tierra, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios. En este sistema el agua acarrea los nutrientes hasta la raíz de la planta, esto hace que las raíces no tengan que desarrollarse tanto puesto que no tienen que recorrer espacios en busca de alimentos como sucede con los cultivos en suelo (Alpizar, 2004).

La considerable disminución de las áreas agrícolas hace de la hidroponía una interesante alternativa de producción en zonas urbanas. La hidroponía puede ser aplicada con tecnologías sencillas y de bajo costo, principalmente en zonas de extrema pobreza en cultivos de autoconsumo. El crecimiento de la hidroponía en México y Latinoamérica dependerá del desarrollo y adaptación de sistemas menos sofisticados de producción que ofrezcan una ventaja competitiva en costo comparada con la tecnología sofisticada en países desarrollados (Rodríguez, 2005)

El crecimiento y futuro de la hidroponía en Latinoamérica dependerá mucho del desarrollo y adaptación de sistemas menos sofisticados de producción, lo cual se refiere a sistemas que no requieran una alta inversión inicial, pero que a la vez sean competitivos para el pequeño agricultor (Rodríguez 1999).

2.2.1. Origen del cultivo hidropónico

La palabra hidroponía proviene del griego **υδρο** (*Hydro*) que significa agua y **οουξ** (Ponos) que significa labor, trabajo o esfuerzo; traducido literalmente significaría trabajo en agua. El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define como el cultivo de plantas en solución acuosa; sin embargo, actualmente la palabra involucra todas aquellas formas en que se cultivan plantas con algún soporte (arena, grava, carbón, etc.), sin el uso de suelo, en donde son alimentadas mediante una solución de nutrimentos minerales (sales minerales) que se les suministra por medio del agua de riego (Sánchez y Escalante, 1988)

En consecuencia los cultivos hidropónicos según Sánchez, (2004) son aquellos que se realizan por adición de nutrientes en agua o sobre materiales inertes.

Cuando las raíces de la planta se sumergen solo en agua, presenciamos la hidroponía pura, uno de los primeros métodos utilizados; después evoluciona con implementos y variaciones, pero con el mismo principio: una solución nutritiva entra en contacto con las raíces y ningún otro sustrato (Abad, 1995).

2.2.2. Sistemas de producción hidropónica

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

- Sistema hidropónico líquido.
- Sistema hidropónico con sustrato sólido.

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta con una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran, el sistema de raíz flotante y el sistema recirculate o NFT; para los sistemas hidropónicos que emplean sustratos solidos se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes (Patlax, 2013).

2.2.2.1. Sistemas hidropónicos con sustrato líquido

Son los sistemas realizados siempre en una disolución nutritiva, sin ningún tipo de anclaje sólido en el cual se desarrolla y vive el aparato radical. De todos los sistemas de cultivo sin suelo es el que más se ajusta al término hidropónico, al menos por su propia etimología (Urrestarazu, 2004).

2.2.2.2. Sistema hidropónico de raíz flotante

Conocido como el auténtico sistema hidropónico, fue uno de los primeros sistemas evaluados a nivel experimental y comercial que maximiza la utilización del área de cultivo (Barrios, 2004) citado por Landa y Cárcamo (2010)

En este sistema no se utiliza sustrato sólido, las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utiliza láminas de estereofón a las que se les perforan agujeros en donde se asienta la planta, y luego se pone a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces (Guzmán, 2004).

En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport perforado para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva) (DCT y AIT, 2000).

Este sistema ha sido probado en diferentes lugares con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad. A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente al factor limitante que es la oxigenación (Chang, M. *et al*, 2000).

2.2.2.3. Técnica del cultivo con flujo lamiar de nutrientes (NFT)

Esta técnica de cultivo en agua consiste en el crecimiento de las plantas, teniendo su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes. La profundidad del flujo líquido que pasa a través de las raíces de la planta debe de ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pueda disponer del oxígeno necesario (Resh, 2006).

2.2.2.4. Sistemas hidropónicos con sustrato solido

Son aquellos que utilizan como medio de soporte para la planta, material solido que presenta cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte para poder llevar a cabo una eficiente interacción de la solución nutritiva en la raíz de la planta, mediante un sistema de riego manual o por goteo (Resh, 2006).

Como sustrato pueden utilizarse material de origen inorgánico o mineral como: la piedra volcánica, grava, arena, piedra pómez etc., como también materiales de origen orgánica, tales como: fibra de coco, carbón vegetal, cascarilla de arroz, cubierta de nuez de macadamia. Incluso se han utilizado materiales artificiales como el poliestireno expandido (Guzmán, 2004).

2.2.3. Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos

La mayoría de los autores (Penningsfeld y Kurzmann, 1983; Resh, 1982; Vicenzoni, 1980) Señalan una serie de ventajas e inconvenientes, algunas de las cuales se reseña brevemente (Maroto, 2008).

Como ventaja, los cultivos en solución nutritiva pueden ofrecer las siguientes:

- Mejor aprovechamiento de los fertilizantes.
- Mayor control de nutrición vegetal.
- En general menores problemas fitosanitarios y mayor facilidad para su control.
- Menores posibilidades de que las plantas sufran como consecuencia de limitación de agua.
- Puede ser una alternativa importante en caso de fuentes infestaciones de parásitos del suelo en cultivo tradicional.
- Notable reducción en la cuantía y complejidad de las denominadas “labores de cultivo”

- En sistema bien manejado, se obtiene producciones muy elevadas y de una alta calidad.

Entre las principales desventajas pueden citarse:

- Elevado costo de implementación.
- Importantes gastos de mantenimiento.

En general se requiere una determinada cualificación del personal encargado del manejo (Maroto, 2008).

2.2.4. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Según Marulanda (2003), existen elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo) entran a la planta a través de las raíces. El déficit de solo uno de ellos limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el productor. De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad).

2.2.4.1. Nitrógeno

Es el nutriente que más influye en el crecimiento y rendimiento de las plantas, es constituyente de aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, también forma parte de la molécula de clorofila. Una adecuada cantidad de nitrógeno produce un rápido crecimiento y de un color verde oscuro, lo que es una señal de fuerte actividad fotosintética de la planta (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

Una deficiencia produce un reducido crecimiento y su brotación es débil y de color pálido, la falta de este elemento en las reservas al final del verano – otoño, puede provocar corrimiento de flor en la primavera siguiente (Resh, 2006).

Un exceso alarga la vegetación y los frutos tardan en madurar, además el fruto tiene menos aguante al trasplante, en tomate se aprecia un color deslavado del fruto, jaspeado; mayor sensibilidad a las plagas y enfermedades, los tejidos verdes

y tiernos son fácilmente parasitados; aumenta la salinidad del suelo y los efectos de sequía; favorece las carencias de cobre, hierro y boro (Navarro y Navarro, 2003; Taiz y Zeiger, 2006).

2.2.4.2. Fósforo

Las plantas lo toman en forma de H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , este elemento estimula la rápida formación y crecimiento de las raíces, facilita el rápido y vigoroso comienzo a las plantas, acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos, ayuda a la formación de las semillas, da vigor a los cultivos para defenderse del rigor del invierno. Su deficiencia afecta en la aparición de hojas, ramas y tallos de color purpúreo; este síntoma se nota en las hojas más viejas, desarrollo y madurez lento y aspecto raquítico en los tallos, mala germinación de las semillas, bajo rendimiento de frutos y semillas. Cuando es aplicado en exceso los efectos no son notorios primera vista, pero pueden ocasionar deficiencia de cobre o de zinc (Marulanda, 2003).

2.2.4.3. Potasio

Es activador de muchas enzimas esenciales en fotosíntesis y respiración, activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas, favorece la formación de hidratos de carbono, aumenta el peso de gramos y fruto, haciéndolos más ricos en azúcar y zumo, mejorando su conservación, favorece la formación de raíces, y las plantas resisten mejor la sequía, es un elemento de equilibrio y sanidad, aportando mayor resistencia a las heladas, a las plagas y a las enfermedades (Navarro, 2003).

Su deficiencia se manifiesta por un enrollamiento hacia arriba del borde de las hojas acompañado por una quemadura de color café en las puntas y márgenes comenzado por las más maduras, también presenta tallos débiles que favorecen la tendadura, frutos pequeños, semillas arrugadas y crecimiento lento, puede inducir carencias de magnesio, cobre, cinc, manganeso y hierro (Resh, 2006).

2.2.5. Solución nutritiva

Según Marulanda (2003), existen varias fórmulas para preparar nutrientes que han sido usadas en distintos países, una forma de preparar una solución concentrada probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe en más de 30 especies de hortalizas, plantas ornamentales y plantas medicinales, comprende la preparación de dos soluciones madres o concentradas, a las que se designa como Solución A y Solución B, estas están compuestas de la siguiente forma.

CUADRO 1. Componentes de la solución nutritiva (Marulanda, 2003)

Solución concentrada A (Para 10 litros de agua)	
Elementos	Cantidad (gramos)
Fosfato mono amónico (12-52-0)	300
Nitrato de calcio	2.080
Nitrato de potasio	1.100
Solución concentrada B (Para 4 litros de agua)	
Sulfato de magnesio	492
Sulfato de cobre	0,48
Sulfato de manganeso	2,48
Sulfato de zinc	1,20
Ácido bórico	6,20
Molibdato de amonio	0,02
Nitrato de magnesio	920
Quelato de hierro	8,46

Fuente: Marulanda (2003)

2.2.5.1. pH de la solución nutritiva

El pH de una solución indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Si una solución es acida su valor es menor a 7, si es alcalina su valor es mayor a 7 y si es neutra su valor es 7. La disponibilidad de los nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango de 5.5 a 6.5 (Urrestarazu, 2004).

Rincón (1997), citado por Favela *et al.*, (2006) menciona que el pH de la solución nutritiva se controla con el fin de neutralizar la presencia de los bicarbonatos en el agua de riego, ya que estos iones producen un elevado pH, y un alto contenido de ellos en la zona radical provoca la inmovilización del P, Mn y Fe.

Macias *et al.*, menciona que para disminuir el pH se agrega un ácido, como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH se debe adicionar una base o alcalino como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (excepto para agua con niveles significativos de sodio). Se sugiere el uso de un conductímetro o cinta de pH para el control de este parámetro. Con una solución tampón (buffer) antes de utilizarlo.

2.2.5.2. Conductividad eléctrica

La conductividad indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para uso adecuado del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 ms/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post – almácigo y trasplante definitivo (Urrestarazu, 2004).

Si la solución nutritiva supera el rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductímetro, el cual calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución (Barrios, 2004) citado por Landa y Cárcamo (2010).

2.2.5.3. Calidad de agua

El agua en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, el cual en concentraciones altas causa toxicidad a la planta. Se debe evitar el uso de aguas duras, ya que estas contienen de calcio y magnesio (Resh, 2006).

2.2.5.4. Oxigenación de la solución nutritiva

La falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario esta se torna oscura debido a la muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día (Chang et al., 2000).

2.3. Lombriz californiana (*Eisenia fetida*)

2.3.1. Clasificación taxonómica de la lombriz

CUADRO 2. Clasificación taxonómica de la Lombriz (*Eisenia fétida*)

Clasificación taxonómica de la lombriz (<i>Eisenia fétida</i>)	
Phyllum	Annelida
Clase	Clitelada
Subclase:	Oligochaeta
Orden	Haplotaxida
Suborden	Lumbricina
Superfamilia	Lumbricoidea
Familia	Lumbricidae
Subfamilia	Lumbricinae
Genero y Especie	<i>Eisenia fetida</i> S.

Fuente: Cuevas y Méndez (1998)

2.3.2. Evolución

Los lumbricidos se encuentran entre los seres con mayor éxito adaptativo. Su origen se sitúa en el precámbrico, hace 700 millones de años. Existe un gran número de familias, especies y subespecies que han ido ocupando mares, lechos lodosos de lagunas y las capas superiores de casi todos los suelos del planeta. Son animales con cuerpo constituido por una serie de anillos o metámeros, en los que se repiten los mismos órganos (García y Pérez, 2006).

2.3.3. Anatomía y fisiología de la lombriz

Para cavar, la lombriz contrae los músculos longitudinales, el cuerpo se dilata agrandando la abertura de la galería. Luego, al contraer los músculos longitudinales, se adelgaza y desliza. Se han observado lombrices remover piedras de más de cincuenta veces su peso, o penetrar sin dificultad en terrenos compactados donde difícilmente puede clavarse una pala (García-Pérez, Rafael, 2006).

Una buena parte del cuerpo de la lombriz está ocupado por el canal digestivo, tuvo que la recorre de un extremo al otro. A medida que el animal cava la galería, incorpora tierra y materia orgánica, humedeciéndola previamente con enzimas para ablandar los tejidos vegetales (García-Pérez, Rafael, 2006).

La boca es sólo un orificio con una cavidad. Los alimentos primero son humedecidos y predigeridos con un líquido parecido a la secreción del páncreas humano. Posteriormente son aspirados por la faringe debido a la poderosa contracción de sus franjas musculares, haciendo el efecto de una bomba succionadora (<http://www.geocities.com/sanfdo/index.htm>).

A continuación sigue el esófago, que posee glándulas calcíferas encargadas de neutralizar la acidez de la materia vegetal. El papo empuja el alimento a la molleja, donde es molido con poderosas contracciones. Finalmente en el intestino se completa el resto de la digestión y la mayor parte de la absorción (Fig.1).

A pesar de su sencillez, estos invertebrados tienen un buen desarrollo de su sistema nervioso, aparato circulatorio, digestivo, excretor, muscular y reproductor. Miden desde unos pocos milímetros, hasta más de un metro, pero la mayoría oscila entre los dos y veinte centímetros. El cuerpo de los anélidos se destaca por presentar una segmentación externa e interna. Estos segmentos o anillos (95 la lombriz roja y entre 80 y 150 de la lombriz terrestre), tienen distintas funciones según su ubicación (Fig. 2) (Sánchez, 2003).

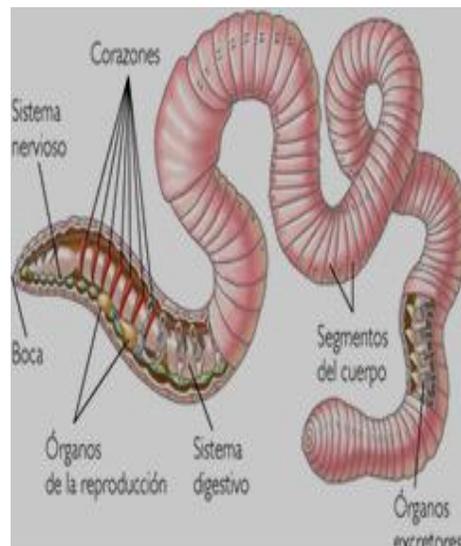
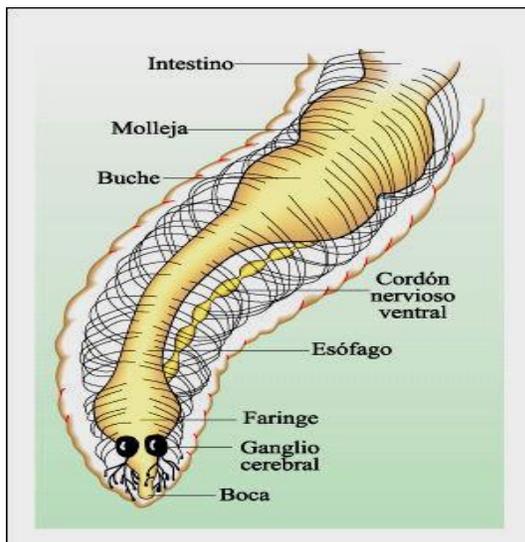


FIGURA 1. Órganos de la lombriz. **FIGURA 2.** Segmentos o anillos de la lombriz.

La pared del cuerpo está constituida de afuera hacia dentro por:(Fig. 3).

- Una cutícula (lamina muy delgada, generalmente de color marrón brillante).
- Una epidermis (epitelio simple con células glandulares que producen una secreción mucosa, también hay células glandulares que produce una secreción serosa).
- Capas musculares (son dos, una circular externa y una longitudinal interna).
- Peritoneo (es una capa más interna y limita exteriormente con el celoma de la lombriz).

- El celoma es una cavidad que contiene líquido celómico, se extiende a lo largo del animal y envuelve el canal alimenticio.
- El aparato circulatorio está formado por vasos sanguíneos o corazones contráctiles. Las lombrices tienen solamente dos grandes vasos sanguíneos, uno dorsal y uno ventral. Existen también, otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo (García-Pérez, Rafael, 2006)
- El aparato respiratorio es primitivo, el intercambio se produce a través de la pared del cuerpo. El aparato excretor está formado por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma (García-Pérez, Rafael, 2006)
- El sistema nervioso es ganglionar. Posee un par de ganglios supraesofágicos (cerebro), de los que parte una cadena ganglionar. Estos ganglios supraesofágicos están relacionados por comisuras de unión.

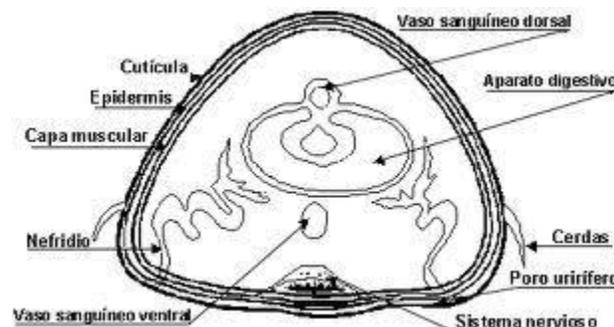


FIGURA 3. Pared del cuerpo de la lombriz.

Aunque las lombrices no logren distinguir las imágenes puede percibir la luz mediante receptores que se hayan ubicados en el epitelio.

Tienen gran número de receptores en la cavidad bucal, los cuales podrían ser los responsables de los sentidos del gusto y del olfato. Posiblemente tienen también sensaciones químicas y térmicas (Maroto, 2008).

2.3.4. Biología de la lombriz

Reynolds y Wetzell (2010), han descrito las siguientes fases biológicas de la lombriz.

a) Apareamiento

Las lombrices son hermafroditas, lo que significa que cada individuo tiene órganos masculinos y femeninos. Sin embargo, deben aparearse. Se cubren de una mucosidad pegajosa, se encuentran y pasan el esperma al cuerpo del otro. La cópula puede durar hasta una hora y termina sin que la fertilización tenga lugar.

b) Fertilización

Después de que el apareamiento ha terminado, el clitelo de la lombriz produce un anillo mucoso que se desliza hacia adelante sobre el cuerpo de la lombriz y toma huevos maduros de un segmento de la lombriz y esperma de otro segmento, para que se pueda dar la fertilización. A medida que la lombriz se arrastra hacia adelante, el anillo se desliza y se deposita bajo tierra. Se cierra y se endurece en un capullo.

c) Eclosión

De dos semanas a tres meses más tarde, dependiendo de las condiciones ambientales, los huevos dentro del capullo empiezan a eclosionar y surgen pequeñas lombrices en las madrigueras debajo de la tierra.

d) Infancia

Las lombrices de tierra recién eclosionadas son más pequeñas que sus homólogas adultas y por lo general, dependiendo de la especie, tienen un color más claro. No se desarrollan los órganos reproductores hasta que tienen 12 meses de edad.

e) Adulthood

Las lombrices adultas, dependiendo de la especie, pueden vivir por más de 10 años. La lombriz adulta pasará su vida en su madriguera bajo tierra alimentándose, lo que ayudará a mantener la tierra saludable por que la airea y le incorpora los desechos excretados. Las lombrices de tierra salen a

la superficie solo en los días nublados y durante la noche, a menos que las fuertes lluvias las expulsen de sus madrigueras. Estarán inactivas dentro de sus madrigueras durante el tiempo frío o el calor extremo, especialmente en condiciones de sequía. Puede haber hasta 50.000 lombrices en un acre de tierra húmeda.

2.3.5. Humus de lombriz o Vermicomposta

Tiene la misma apariencia y olor que la tierra negra y fresca, es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutricional y con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad (Capistrán et al., 2004)

Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas a las plagas, enfermedades y organismos patógenos, también puede incrementar la producción de frutas, hortalizas y otros productos agrícolas (Moreno, 2006).

Esta alternativa permite en un momento dado evitar el uso indiscriminado de fertilizantes, que finalmente provocan alteraciones perjudiciales no solo al suelo si no al ambiente (Martínez, 1999; Najera, 1999).

2.3.5.1. Características y composición del humus de lombriz

El abono producido por las lombrices no tiene restricciones para su uso y contribuye a lograr resultados positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es un material natural que no es tóxico para los humanos, los animales, las plantas o el ambiente. A diferencia de los fertilizantes químicos, este puede ser utilizado puro, sin riesgo de afectar a las plantas, además de mejorar la producción de ellas, también conserva e incrementa la fertilidad de los suelos, mejora su estructura, retiene de manera óptima el agua y el aire, reduce la contaminación y tiene sustancias activas que favorecen las condiciones del suelo y de las plantas que crecen sobre (Capistrán et al., 2004).

La composición y calidad de la lombricomposta está en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz. Un manejo adecuado de los desechos, una mezcla bien balanceado, permite obtener un material de excelente calidad (Martínez, 1996).

También contiene niveles medios de fitohormonas como citoquininas, giberelinas y auxinas. Así mismo se ha conseguido que tiene un alto nivel de actividad enzimática de los grupos deshidrogenasa, fosfatasa y ureasa. Es sobresaliente su contenido de materia orgánica (55-70%), humina, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Su pH generalmente oscila entre 6.7 y 7.2, contiene la mayoría de los nutrientes esenciales requeridos por las plantas (macro y micronutrientes) (Martínez, 1999).

2.3.5.2. Beneficios del humus de lombriz

- El humus de lombriz está científicamente probado que produce un aumento en el porte de las plantas y los protege de enfermedades de la raíz (ya sea por bacterias o nematodos).
- En comparación con el estiércol de bovino, el humus de lombriz contiene 4 veces más nitrógeno, 25 veces más Fósforo, 2.5 veces más potasio y además no se aportan plagas de suelo.
- Ayuda al desarrollo de la microflora y microfauna (microorganismos benéficos .del suelo) en los terrenos en cultivo.
- Aporta elementos nutritivos para el buen desarrollo de las plantas, además de que los libera lentamente, lo que permite que los cultivos lo aprovechen mejor. Evita la presencia de clorosis férrica en los cultivos.
- Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo.
- Aumenta y mantiene un alto nivel de fertilidad de los suelos, hasta tres años después de su aplicación.

- Regula los cambios bruscos del pH y amortigua los cambios bruscos de temperatura.
- Disminuye el riesgo de erosión del suelo.
- Mejora el intercambio catiónico planta-suelo. Neutraliza la presencia de algunos contaminantes (herbicidas, esteres fosfóricos, anticriptogamicos, etc.).
- Mejora las características de estructuras (desligando los suelos arcillosos y agregados los suelos arenosos).

2.5. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

2.5.1. Origen e importancia

Mallar (1978), menciona que la lechuga es originaria de las costas del sur y sur este del mar Mediterráneo, desde Egipto hasta Asia Menor. Los egipcios la comenzaron a cultivar 2400 años antes de esta era y se supone que la utilizaban para extraer aceite de la semilla y para forraje.

Gundiel (1987), la lechuga es una planta originaria de Europa y Asia, siendo una de las plantas hortícolas más antiguas que se conocen y en la actualidad la lechuga es objeto de cultivo intensivo por la gran demanda que hay de ella.

Vigliola (1992), comenta que según Whitakes y otros (1974), la lechuga es originaria de las costas del mediterráneo y su importancia radica en que ocupa el tercer lugar dentro de las hortalizas cultivadas después de la papa y el tomate.

Hartman (1990), concluye que en Bolivia existe una gran demanda de productos hortícola que podría ser cubierto en algunas medidas

2.5.2. Morfología

Guenko (1983), citado por Blanco (2013), la lechuga es una planta herbácea anual, que cuando joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta.

Gudiel (1987), las hojas de la lechuga son lisas, sin peciolo (sésiles): el extremo puede ser redondeado o rizado. Su color va de verde a amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo. El limbo es entero y dentada, el tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo, cuando existen condiciones de altas temperaturas (mayor de 26°C) y días largos (>12 horas) los tallos se alarga hasta 1.20 metros de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia. Se reporta que las principales raíces de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 cm, de profundidad, característica que explica su relativa resistencia a la sequía.

Gudiel (1987), en lo que se refiere a la inflorescencia, esta se constituye de grupo de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo, los pétalos son soldados (gamosépalos), posee cinco estambres y su ovario monocular. Las flores son de autopolinización, función que se realiza antes de que las flores se abran; se reporta que también es posible la polinización cruzada. Las semillas son largas (4 – 5 mm) su color generalmente es blanco crema, aunque también hay pardas y castañas; debe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (de 20 a 30°C) para inducir a una rápida germinación.

2.5.3. Sistemática

CUADRO 3. Clasificación taxonómica de la Lechuga (*Lactuca sativa*)

Clasificación taxonómica	
Reino	Vegetal
Sub Reino	Embrybionta
División	Magnoliophyta
Sub División	Magnoliopsida
Sub clase	Asteridae
Orden	Asterales
Genero	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>L. sativa</i>
Nombre científico	<i>Lactuca sativa</i>
Variedad	<i>Walman green Grand rapid</i>
Nombre común	Lechuga mantecosa, lechuga señorita

Fuente: Gudiel V. 1987

2.5.4. Adaptación Climática

Casseres (1984), indica, que esta hortaliza es típica de climas frescos. En los trópicos se la encuentra en las elevaciones con climas templados y húmedos que favorecen su desarrollo. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral y la calidad de la lechuga se deteriora rápidamente con el calor, debido a una acumulación de látex amargo en su sistema vascular.

Gudiel (1987), expresa que la lechuga se desarrolla mejor en los climas templados y fríos de 400 – 900 pies sobre el nivel del mar. Las heladas en exceso le son perjudiciales.

Hartaman (1990), comenta que algunas hortalizas necesitan luminosidad directa para tener un mejor desarrollo y fructificación, mientras que otras se desarrollan mejor bajo luz difusa de baja intensidad, entre ellos tenemos las hortalizas de hoja como la lechuga y acelga.

2.5.5. Temperatura

Vigliola (1992), menciona que según Knof (1957), indica que la lechuga se desarrolla mejor en un clima templado fresco. Para obtener un buen crecimiento y calidad de los productos. Las condiciones necesarias son las siguientes:

- Temperatura promedio mensual máxima 21 – 24°C
- Temperatura promedio mensual óptima 15 – 18°C
- Temperatura promedio mensual mínima 7°C

Es importante contar con temperaturas no muy elevadas durante el día y con noches frescas. Las temperaturas elevadas originan un sabor amargo, falta de firmeza en cabezas y floración prematura. La semilla de lechuga necesita para germinar un contenido de humedad en el suelo de 50%.

2.5.6. Valor nutricional

La lechuga es una hortaliza pobre en calorías, aunque las hojas exteriores son más ricas en vitamina C que las interiores.

CUADRO 4. Contenido nutricional de la Lechuga (*Lactuca sativa*)

Valor nutricional de la lechuga en 100 gramos	
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fosforo (mg)	108.9
Vitamina C (mg)	105.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (Cal)	18

Fuente: Adaptado de Gebhardt y Matthews (1988).

2.5.7. Enfermedades y Plagas

2.5.7.1. Enfermedades

Según Giaconi y Escaff (1995) y Del Cañizo (1981), entre las principales enfermedades que afectan al cultivo de la lechuga están: mosaico, caída de plántulas, oidio, mildiu de la lechuga, podredumbre blanca y los hongos del suelo.

- Mosaico: Es una enfermedad muy difundida y tiene mayor incidencia en la disminución de rendimientos. Producida por un virus que en plántulas ocasiona un enroscamiento de la lámina de las hojas hacia abajo acompañado de deformación, produciendo posteriormente el mosaico en las hojas nuevas. Este virus se transmite por semilla y por pulgones.

- Oídio: Es causado por el hongo *Erysiphe cichoracearum*, su control se realiza con productos a base de azufre.
- Mildiu de la lechuga (*Bremia lactucae*): En las plantas recién nacidas las hojas más externas amarillean y se secan. En las ya formadas, dichas hojas son la primeras en contaminarse, decolorándose las zonas limitadas entre las nerviaciones. En la parte del envés de dichas zonas decoloradas aparece un polvillo blanco. Finalmente las partes atacadas se necrosan.
- Podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*): El interior del cogollo se pudre y en él aparece una masa blanca algodonosa que alberga unos cuerpos negros, muy duros, de forma irregular, que son los gérmenes que propagan el hongo de un año a otro. Al intentar arrancar la planta ésta se parte fácilmente por su cuello.
- Hongos del suelo: Las plantitas, o bien mueren antes de emerger, o bien (una vez emergidas) el cuello de la planta se ennegrece y pudre. Las raíces se necrosan y al final la plantita muere.

2.5.7.2. Plagas

Según Giaconi y Escaff (1995) y Del Cañizo (1981), entre los principales insectos -plaga que atacan al cultivo de la lechuga se encuentran:

- Los pulgones, pequeños insectos que normalmente se encuentran agrupados en colonias y situados preferentemente en la base de las hojas. Producen melaza pringosa y causan diversos daños en el cultivo.
- Las babosas que ocasionan perforaciones en las hojas y para las cuales se recomienda mantener el cultivo libre de residuos vegetales y de malezas.
- Gusanos del suelo y rosquilla negra, hojas mordisqueadas, raicillas roídas, cuello de la planta también mordido.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El experimento se estableció en FOCAPACI (Centro de Formación y Capacitación para la Participación Ciudadana), Ciudad de El Alto (Villa Juliana), situado a una altura de 4014 m.s.n.m., en las Coordenadas 16°31'48" de latitud Sur y a 68°11'559" de longitud Oeste (Plan de desarrollo municipal de El Alto, 2005).



FUENTE: *Google Earth, (2015)*

FIGURA 4. Imagen satelital de la ubicación del experimento

3.2. Materiales

3.2.1. Material Vegetal y biológico

Semillas de Lechuga (*Lactuca sativa*) variedad Waldmans Green que fue adquirida en una Agrotecnia.

Características de la variedad Waldmans Green:

- Variedad de hojas sueltas
- Color verde atractivo con poca vena foliar
- Altamente adaptable bajo condiciones templados
- Selección especial con buen comportamiento en Medio Oriente y Latinoamérica
- Selección publica mejorada

El material biológico que se utilizó: Lombriz roja californiana, sustratos alimenticios (Estiércol de cuy, estiércol de conejo, estiércol de bovino y gallinaza) y cascara de plátano.

3.2.2. Materiales de campo

Para el armado del contenedor, preparación del caldo de humus de lombriz, establecimiento y manejo del ensayo se emplearon los siguientes materiales: Madera, Nylon Polietileno negro, clavos, engrampadora, cinta métrica, Poliestireno (Plastaformo), esponja, Tubo PVC, Turril de 100 litros, humus de lombriz, cordel, letreros de identificación, marbetes, regla, Termómetro de máximas y mínimas.

3.2.3. Material de laboratorio

Los materiales para laboratorio que se utilizaron fueron: Balanza analítica, vernier o calibrador.

3.2.4. Material de gabinete

Para la parte de trabajo de gabinete se utilizaron los siguientes materiales: hojas de registro, computadora, cuaderno de campo, lapicero, tijera, cámara fotográfica, paquete estadístico SAS.

3.3. Metodología

El trabajo de investigación se realizó de fecha 20 de Septiembre del 2014 al 19 de febrero del 2015 con una duración de 153 días desde la producción de humus de lombriz a la cosecha del cultivo de lechuga.

3.3.1. Trabajos preliminares

3.3.1.1. Elaboración del Humus de lombriz

El humus de lombriz fue elaborada en el mismo ambiente (ambiente atemperado) como se muestra en el cuadro 5.



FIGURA 5. Inoculación de las lombrices



FIGURA 6. Humus de lombriz

CUADRO 5. Elaboración de humus de lombriz

ABONO ORGÁNICO	MATERIAL	CANTIDAD	MEZCLA DE LOS MATERIALES	HUMEDAD DE LOS ABONOS	AIREACIÓN DE LOS ABONOS	TEMPERATURA	AFINADO
Humus de lombriz	Lombrices	250	Inocular en el compost maduro	Se regó cada dos días manteniendo una humedad uniforme.	Se realizó los volteos cada dos días.	Se introdujo un geotermómetro a 5 cm de profundidad durante unos 5 minutos. La temperatura debe oscilar entre los 14 y los 27 ° C. Siendo 21 ° C lo ideal.	Se utilizó un tamiz de 5 milímetros para separar el humus de lombriz con el material que aún no se había descompuesto
			Los materiales para la alimentación deben mostrar un pH de 6.5 a 7.5 para evitar que la acidez mate las lombrices (Díaz, 2002)	Se recomienda que la humedad de las camas o lechos permanezca entre 70 a 80% de humedad. Cuando la humedad es menor al 70 % dificulta el desplazamiento y la ingestión de alimentos ya que estas se alimentan mediante succión. (Sánchez, 2003).			
	Estiércol de bovino	1.5 kg	Se mezcló homogéneamente	Se aplicó la prueba del puño para determinar la humedad			
	Estiércol de cuy y conejo	1,5 kg					
	Gallinaza	1 kg					
Compost maduro	1 kg	Se colocó a lado de la mezcla de estiércoles					
<p>RENDIMIENTO: La materia inicial fue de 5 kg, el producto final peso 3.8 kg significando un 75.3 % del peso inicial.</p>							

3.3.1.2. Características físicas y químicas del caldo de humus de lombriz

Como se observa en el anexo 7, los valores de NPK de las muestras de caldo de humus de lombriz disponible para el cultivo de lechuga.

El % de nitrógeno registró valores distintos para dosis de caldo de humus de lombriz; dosis 1 (1:3) 0,34% y dosis 2 (1:4) 0,22% respectivamente. El cual nos indica que la concentración es menor por tal razón presentó deficiencia ya que el cultivo de lechuga requiere 4,5 a 5.5 % de nitrógeno.

Vigliola (1992), indica que este nutriente (nitrógeno) influye sobre el momento de cosecha, acelerando la madurez comercial en las hortalizas cuya parte comestible es la vegetativa.

Chilon (1997), afirma que un porcentaje mayor al 0,2% de nitrógeno está en niveles altos, el suelo y el cultivo pueden verse favorecidos tanto en su estructura como en el rendimiento mismo del cultivo.

El fósforo sobre la calidad de hortalizas, alargando el periodo de conservación y mejorando ciertas características de mercado, como aspecto productivo. El cultivo de lechuga es de bajo requerimiento de fosforo, los valores registrados son (0.035, 0,026 g/l P) respectivamente que también son considerados óptimo para el cultivo de la lechuga.

Esta hortaliza cuya parte comestible es la hoja la deficiencia de potasio disminuye la calidad, provocando una clorosis marginal, Los valores registrados en laboratorio son (0.130, 0.078 g/l).

Según el análisis químico del humus líquido se tiene un **pH** de (7.12, 6.99) la cual es considerado neutro, por tanto fue influenciado en el rendimiento comercial del cultivo; el pH apropiado de acuerdo con lo establecido por (Leñano, 1972), es de 6,0 – 6,5 para un buen desarrollo del cultivo de lechuga.

Según Rincon (1997) citado por Favela *et al.*, (2006) menciona que el pH elevado provoca la inmovilización del P, Mn y Fe. Mientras que el pH apropiado de la solución nutritiva para el óptimo desarrollo de los cultivos se encuentran entre los valores 5,5 y 6,5.

La conductividad Eléctrica (C.E.) en las dosis de caldo de humus de lombriz analizado presento (0,244; 0,195 mS/cm), éstos valores nos indican que no hay problemas de salinidad.

Al respecto Aguilar (2006) afirman que la conductividad eléctrica mide la concentración de sales disueltas en el agua. En general, la conductividad eléctrica del agua, de calidad buena, es inferior a 0,75 mS/cm; permisible con valores entre 0,75 y 2 mS/cm; Sin embargo los cultivos hortícolas, como la lechuga, son más o menos resistentes a la salinidad pudiendo tolerar un valor de conductividad eléctrica hasta de 3,5 mS/cm.

3.3.2. Procedimiento experimental

3.3.2.1. Construcción de los contenedores

Se procedió a construir 9 contenedores de madera de las siguientes dimensiones 1m de ancho por 1m de largo y 0,12m de profundidad.



FIGURA 7. Armado de bandejas



FIGURA 8. Lijado de las bandejas

3.3.2.2. Impermeabilización de los contenedores

Para impermeabilizar los contenedores se empleó nylon negro preferentemente grueso (150 micras) cuya función fue mantener la solución nutritiva.

3.3.2.3. Perforado del Poliestireno (Plastaformo) y Tubo de PVC.

Se utilizó 18 placas de poliestireno de 1 m x 0.50 m x 0.025 m que sirvieron como balsas para sostener las plantas. Se perforaron con un tubo metálico de una pulgada con un marco de plantación de 0,20 m x 0,20 m, obteniendo un total de 25 orificios por cada dos placa de poliestireno la cual fue 1m², por lo tanto, la cantidad total de plantas fueron de 225 plantas.

Se compró 9 tubos PVC de cuatro metros, para cada unidad experimental teniendo 9 unidades, las cuales se procedió a marcar a cada 0.20m círculos de 1 pulgadas con la ayuda de un taladro, teniendo 20 plantas por unidad experimental con 180 plantas por los 9 unidades experimentales.

De esta manera se tuvo un total de 405 plantas por las 18 unidades experimentales en bandeja flotante y tubo de PVC.

3.3.2.4. Armado del sistema en tubo PVC

El armado del sistemas en tubos fue; 4 metros de largo por 2 metros de ancho en la base, un armado en triangulo perfecto en forma de A, los tubos de PVC se colocaran de forma escalonada con un espacio de separación de 30 cm entre tubos.



FIGURA 9. Armado del sistema en tubo PVC

3.3.2.5. Ubicación de los contenedores y tubos PVC

Una vez que los contenedores fueron armados e impermeabilizados respectivamente para el estudio ya mencionado. Se procedió a la ubicación de acuerdo al croquis y diseño experimental planteado en el ambiente atemperado. Al medio se armó el sistema de tubo PVC, y a los costados izquierda y derecha se ubicó los contenedores a 60 cm de altura del suelo, dejando espacio de 1m de pasillo entre los contenedores y el armado de tubos PVC con la finalidad de realizar las labores del cultivo.

3.3.2.6. Almacigo

La siembra de las semillas se realizó directamente en un sustrato de: dos partes de tierra cernida, y una parte de tierra vegetal o turba y una parte de humus de lombriz en líneas a chorro continuo.



FIGURA 10. Almacigo de lechuga

3.3.2.7. Trasplante y Densidad de siembra

El trasplante se llevó a cabo la tarde del 31 de diciembre del 2014, cuando las plantines tenían entre 4 y 5 hojas verdadera, a los 30 días de siembra seleccionando plantines fuertes y vigorosos, luego el lavado de raíces de los plantines, esto para eliminar los microorganismos.

Con una esponja anillando en la base de la planta para que esta quedara sujeta en la placa de poliestireno y así evitar su caída al fondo de la tina.

Se tomó las siguientes densidades de siembra: 0,20 m en el sistema de los tubos PVC y 0,20 m x 0,20 m en el sistema de las bandejas flotantes teniendo un total de 405 plantas.



FIGURA 11. Trasplante de plantines

3.3.2.8. Esponja.

Se cortó cubos de esponja de 3 cm x 3cm con un corte a la mitad de cada cubo, estos sirvieron como anillado en la base de la planta con el fin de que esta quede sujeta al orificio realizado previamente a las placas de poliestireno (plastaformo) y tubos PVC.



FIGURA 12. Cubo de esponja

3.3.2.9. Preparación de caldo de humus de lombriz

CUADRO 6. Preparación del caldo de humus de lombriz

MATERIAL orgánico	TRATAMIENTOS		CANTIDAD DE AGUA de lluvia (para tres repeticiones)	CANTIDAD (Humus de lombriz) para tres repeticiones	MEZCLA (humus: agua)		DISTRIBUCIÓN A LAS CAMAS Y TUBOS PVC
Humus de lombriz	BANDEJA FLOTANTE	T2	150 litros	50 kg	1kg: 3 litro	Se agito vigorosamente durante media hora, una vez agitado se dejó reposar por 48 horas.	Se tamizo para disponer de una solución de color oscura, el cual se fue utilizando para la investigación.
		T3		37,50 kg	1kg: 4 litros		
	TUBO PVC	T5	54 litros	18 kg	1kg : 3 litros		
		T6		13,50 kg	1kg : 4 litros		

3.3.2.10. Preparación de solución FAO (TESTIGO)

La solución FAO para testigo se compró de la agrotecnia ALMEIRA preparada para 200 litros de agua con características que se muestra en el cuadro 1.



FIGURA 13. Aplicación de solución FAO

La solución original que se utilizó en la preparación de la solución nutritiva fue de cinco (5) partes es decir 5cc de la solución A por dos (2) partes 2cc de la solución B por cada litro de agua que se preparó para la solución nutritiva (testigo).

3.3.2.11. Prácticas culturales

a) Oxigenación

En las bandejas flotantes, la oxigenación se realizó de forma manual levantando las láminas de poliestireno (plastaformo) evitando romperlas, y agitando con la mano por varios minutos, hasta formar burbujas de aire, dos veces al día por la mañana y por la tarde.



FIGURA 14. Oxigenación de la solución en bandeja flotante

En los tubos de PVC la oxigenación fue de manera manual, vaciando todo el contenido de solución de los tubos PVC a un turril de plástico y con la ayuda de una jarra de dos litros se procedió a oxigenar echando de una altura aproximadamente 1m de esta forma levantando burbujas de aire. Una vez realizado esta técnica se volvió a llenar los tubos PVC con la misma cantidad que se vació de cada tubo PVC.



FIGURA 15. Oxigenación en sistema tubos PVC

b) Refalle

Esta práctica se realizó con el objeto de reponer aquellos plantines que no llegaron a prender.

c) Dosificación

En los tratamientos con caldo de humus de lombriz después de la segunda semana se aplicó 10 litros de caldo de humus de lombriz en bandeja flotante, en cuanto a en los tubos PVC se aplicó 4 litros cada semana hasta la cosecha.

En la solución aplicada (testigo) a partir de la tercera semana hasta la cosecha se aplicó cada semana la mitad de la solución aplicada al inicio que fue 125ml de solución A y 50 ml de la solución B en 50 litros de agua para 1m^2 , en bandeja flotante. Mientras en tubos PVC de igual manera a la tercera semana hasta la cosecha se aplicó 45 ml de solución A y 18ml de solución B en 18 litros de agua 250ml solución A; 100 ml de solución B para 4m de tubo PVC.

d) Control de plagas

Durante el desarrollo del cultivo no se presentaron problemas fitosanitarios, con excepción de la presencia de pulgones a los 35 días de desarrollo del cultivo, la cual se controló con hervido de ruda cada 7 días, con la siguiente metodología:

Se procedió a cocer las ramas de ruda por 10 minutos, luego se mantuvo tapado hasta que se enfrié, este hervido se aplicó con un aspersor manual la misma sobre el cultivo en una cantidad aproximada de 6 litros, cada 7 días, con lo que se consiguió combatir los pulgones.

3.3.2.12. Cosecha

La cosecha se realizó a los 50 días después del trasplante, por tratamientos se hizo el pesaje respectivo, tomando en cuenta algunos parámetros de comercialización, color y textura de las hojas.

Para la evaluación del cultivo se procedió a cosechar solo la parte comercial de la planta.



FIGURA 16. Proceso de pesado de la planta

3.3.3. Diseño experimental

3.3.3.1. Modelo estadístico

En el presente trabajo de investigación se aplicó un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones y dos factores de estudio, el factor A sistemas y factor B dosis. Según Ochoa (2009), este diseño es útil para ensayos de laboratorio, invernadero y experimentos con animales menores, en todos los casos es importante que el medio ambiente que rodea a las unidades experimentales actúe en forma uniforme. El modelo lineal aditivo corresponde a:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera.

u = Media general.

α_i = Efecto del i-ésimo **Sistema**.

β_j = Efecto del j-ésima **Dosis**

$\alpha\beta_{ij}$ = Interacción **Sistema x Dosis**.

ϵ_{ijk} = Error experimental.

3.3.3.2. Factor de estudio

En el siguiente cuadro se muestra los factores de estudio.

CUADRO 7. Factores de estudio

<p style="text-align: center;">FACTOR A</p> <p style="text-align: center;">SISTEMAS</p>	<p style="text-align: center;">FACTOR B</p> <p style="text-align: center;">DOSIS DE CALDO DE HUMUS</p> <p style="text-align: center;">(Kg. Humus de lombriz: Agua)</p>
<p>a₁= Sistema en bandeja flotante</p> <p>a₂= Sistema en tubos PVC</p>	<p>b₁= Solución FAO (Testigo)</p> <p>b₂= 1:3</p> <p>b₃= 1:4</p>

3.3.3.3. Tratamientos

$T_1 = a_1 b_1 \Rightarrow$ Sistema en bandeja flotante, Solución nutritiva (Testigo)

$T_2 = a_1 b_2 \Rightarrow$ Sistema en bandeja flotante, 1kg de HL /3 litros de H₂O

$T_3 = a_1 b_3 \Rightarrow$ Sistema en bandeja flotante, 1kg de HL /4 litros de H₂O

$T_4 = a_2 b_1 \Rightarrow$ Sistema en tubo PVC, Solución nutritiva (Testigo)

$T_5 = a_2 b_2 \Rightarrow$ Sistema en tubo PVC, 1kg de HL /3 litros de H₂O

$T_6 = a_2 b_3 \Rightarrow$ Sistema en tubo PVC, 1kg de HL /4 litros de H₂O

3.3.3.4. Croquis experimental

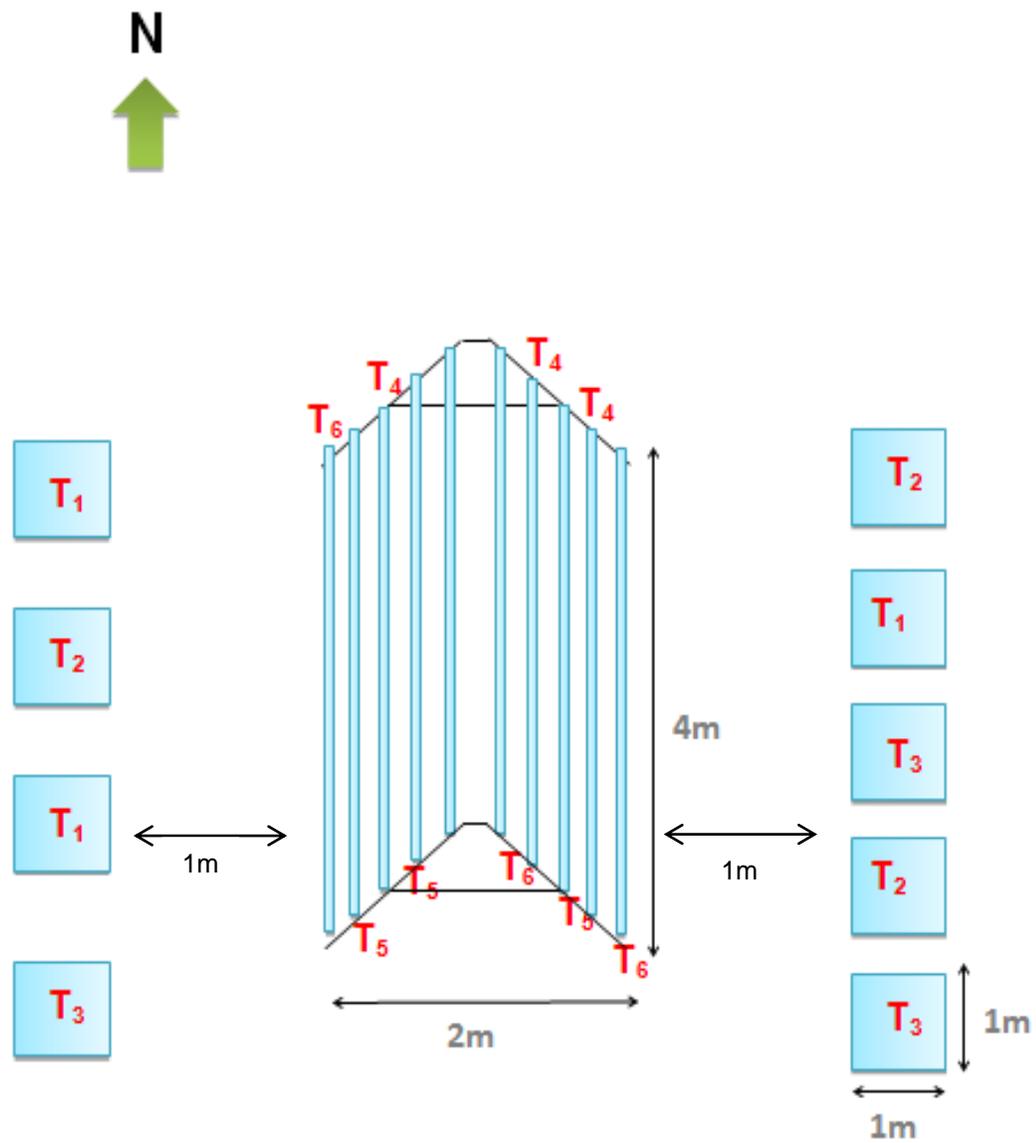


FIGURA 17. Distribución de las unidades experimentales

3.3.3.5. Características y medidas del ambiente protegido

Tipo de la carpa solar	: Doble agua
Material de cubierta y paredes	: Agrofilm
Grosor del agrofilm	: 250 micras
Superficie de la carpa	: 65 metros ²
Largo de la carpa	: 10 metros
Ancho de la carpa	: 6.5 metros
Número total de unidades experimentales	: 18 unidades
Número total de tratamientos	: 6 tratamientos
Número total de repeticiones	: 3 repeticiones
Superficie de cada UE bandeja flotante	: 1 metros ²
Superficie total de UE tubos PVC	: 8 metros ²
Ancho de pasillos	: 1 metro

3.4. Variables de respuesta

3.4.1. Variables Agronómicas

Se seleccionó seis plantas al azar de cada uno de los tratamientos.

Altura de la planta, para este proceso se midieron las plantas tomando la longitud en (centímetros) desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta, con la ayuda de una regla metálicas, se realizó semanalmente, registrando seis plantas muestreadas en las unidades experimentales.

Número de hojas, se seleccionaron 6 plantas como muestras al azar por unidad experimental en las cuales se procedió en el conteo de hojas de forma manual cada siete días y a la cosecha.

Diámetro de roseta, se realizó la medición de las plantas por tratamientos, cada siete días.

Peso fresco de la planta, se pesaron en una balanza analítica inmediatamente después de su recolecta y se registraron los datos en el cuaderno de campo.

Peso seco de la planta, este proceso se llevó a cabo con el fin de obtener el peso seco de la planta solo la parte comercial, el proceso de secado se realizó de forma casera.

Rendimiento de materia verde en (kg/m²)

Para su evolución se pesaron las muestras de cada tratamiento. Las unidades utilizadas fueron g/planta/m² la cual fue llevada a kg/m², considerando el número de plantas por metro cuadrado en ambos sistemas.

3.4.2. Variables económicas

Análisis económico de costos parciales por tratamientos

Para finalizar se realizó el análisis económico en forma de costos parciales por tratamiento, contemplando el costo de producción y el ingreso por venta del rendimiento del cultivo, por ende el análisis económico permite dar las mejores alternativas al campesino productor, utilizando el método de Perrin (1988) para este efecto.

Beneficio Bruto (BB)

Es llamado también ingreso bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto (CIMMY, 1988).

$$BB = R * PP \text{ (Ec. 1)}$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)
R = Rendimiento Ajustado (Bs)
PP = Precio del producto (Bs)

Costos Variables (CV)

Los costos variables son costos relacionados con los insumos comprados y la mano de obra utilizada para la actividad productiva, que varían de un tratamiento a otro.

Es fundamental tomar consideración todos los costos relacionados con los insumos afectados por el cambio de tratamiento. Estos son los elementos relacionados con las variables experimentales (CIMMYT, 1988).

Beneficio Neto (BN)

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción (BB), menos los costos de producción (CP).

$$\mathbf{BN = BB - CP \text{ (Ec. 2)}}$$

Dónde:

BN = Beneficios Netos (Bs)
BB = Beneficios Brutos (Bs)
CP = Costos de producción (Bs)

Relación beneficio y costo (B/C)

La relación de beneficio /costo es la comparación sistemática previa a una inversión, es decir si es factible realizar o rechazar una inversión en un determinado rubro considerando los costos totales de producción y los beneficios brutos a obtenerse, para esto se tiene las siguientes relaciones:

- Si el valor de B/C es mayor a 1 = Inversión aceptada
- Si el valor de B/C es igual a 1 = Inversión dudosa
- Si el valor de B/C es menor a 1 = Inversión rechazada

$$\mathbf{B/C = BB / CP \text{ (Ec. 3)}}$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)
BB = Beneficios Brutos (Bs)
CP = Costos de Producción (Bs)

IBTA Y PROINPA (1995) indica que la regla básica de beneficio/costo (B/C), es que una inversión será rentable, si los beneficios son mayores que la unidad ($B/C > 1$), es aceptable cuando es igual ($B/C = 1$), y no es rentable si es menor a la unidad ($B/C < 1$).

Tasa de retorno marginal (TRM)

El objetivo del análisis marginal es revelar exactamente como los beneficios netos de una inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida. Dicha en una manera sencilla; es la relación que existe entre los beneficios netos (BN) sobre los costos que varían multiplicado por ciento.

$$\text{TRM} = \text{BN} / \text{CV} * 100 \text{ (Ec. 4)}$$

Dónde:

TRM = Tasa de retorno marginal

BN = Beneficio Neto

CV = Costos Variables

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción de las temperaturas registradas en el ambiente protegido durante el desarrollo del cultivo

La Figura 18 muestra el comportamiento de las temperaturas registradas en el ambiente protegido durante los meses en el que se realizó el estudio experimental. Se puede apreciar que las temperaturas mínimas van desde 5°C a 10°C, las temperaturas máximas varían de 24 a 37 °C.

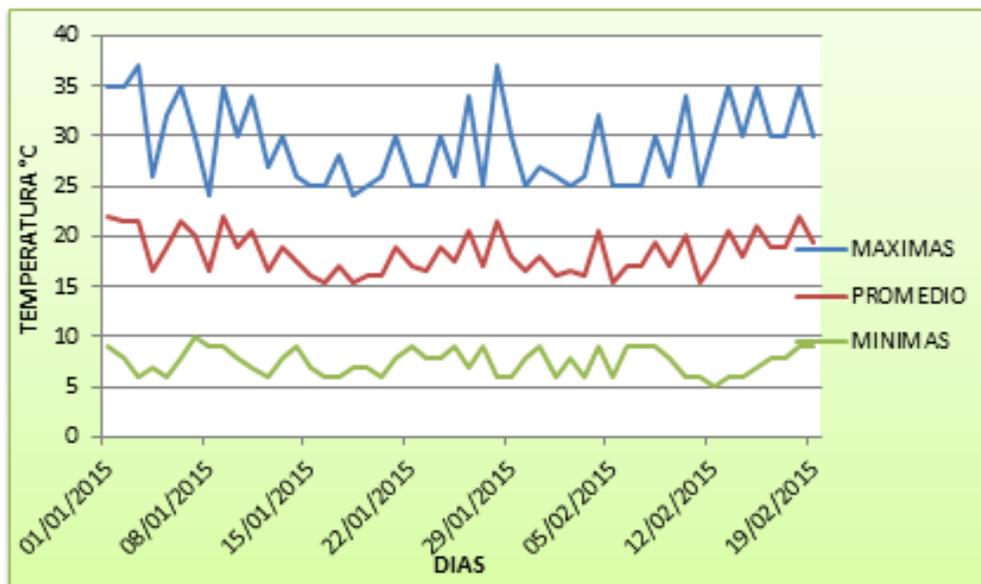


FIGURA 18. Temperatura registrada durante el desarrollo del cultivo

Al respecto (Aruquipa, 2008), reportó temperaturas máximas y mínimas en los meses de enero a marzo durante el desarrollo del cultivo de lechuga casi homogéneos, obteniéndose como promedio una máxima de 37,19 °C y una mínima de 8,60 °C.

Casseres (1984), indica, que la lechuga es típica de climas frescos. En el trópico se encuentra en las elevaciones con climas templados y húmedos que favorecen su desarrollo. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral y la calidad de la lechuga se deteriora rápidamente con el calor, debido a una acumulación de látex amargo en su sistema vascular.

4.2. Evaluación de las variables agronómicas

4.2.1. Altura de la planta

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

CUADRO 8. ANVA para altura de planta a la cosecha de la lechuga

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema	1	3,74	3,74	1,51	0,243	NS
Dosis	2	109,14	54,57	22,03	<0,0001	**
S*D	2	86,62	43,31	17,48	0,0003	**
Error	12	29,73	2,48			

CV (%)= 6,38 ** Altamente significativo NS: no significativo

De acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 8, es posible afirmar que la variabilidad originada por los sistemas no es significativa ($P > 0.05$). Por otra parte la variabilidad originada por las dosis y la interacción dosis por sistema (S*D), es altamente significativa.

El coeficiente de variación es de 6,38%, que está dentro del rango establecido por Ochoa (2007), el cual indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales.

CUADRO 9. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable altura de planta (cm), efecto de dosis

DOSIS	PROMEDIO DE ALTURA DE LECHUGA (cm)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Testigo	27,87	A
Dosis 2	24,33	B
Dosis 1	21,87	C

El cuadro 9 muestra que los promedios de altura de lechuga para los efectos de dosis son diferentes en todos los casos. Es así que la mayor altura de planta se

registra para el tratamiento testigo (27.87 cm), significativamente mayor que la altura de planta registrada para el tratamiento de la dosis número 2 (24,33 cm) y éste último, superior estadísticamente a la altura registrada para la dosis número 1 (21,87 cm).

La diferencia entre altura de plantas puede deberse a que cada dosis contiene diferentes % de NPK y la calidad del caldo de humus de lombriz a comparación del testigo que presento mayor altura esto porque contiene las cantidades necesarias de macro y micronutrientes que requiere la planta.

Análisis de la interacción sistema y dosis para la altura de planta

CUADRO 10. Análisis de varianza de efectos simples de la interacción sistema * dosis para altura de planta

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema (Testigo)	1	34,560	34,560	13,95	0,0028	**
Sistema Dosis 1	1	51,627	51,627	20,84	0,0006	**
Sistema Dosis 2	1	4,167	4,167	1,68	0,2190	NS
Dosis (Bandeja flotante)	2	195,087	97,543	39,38	<, 0001	**
Dosis (Tubo PVC)	2	0,669	0,334	0,14	0,875	NS
Error	12	29,73	2,48			

** Alta significancia

* significativa

NS no significativo

El cuadro 10 análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para altura de planta, se puede observar que existe diferencias altamente significativas para la interacción sistemas dosis 1 ($p=0,0028$) y sistemas testigo ($p=0,0006$).

Por otra parte no existe diferencias significativas entre la interacción sistema dosis 2 ($p=0,2189$).

En otro sentido, la interacción de dosis con sistema bandeja flotante es altamente significativa con una probabilidad ($p=0,0001$), pero la interacción dosis con sistema tubo PVC es no significativo estadísticamente

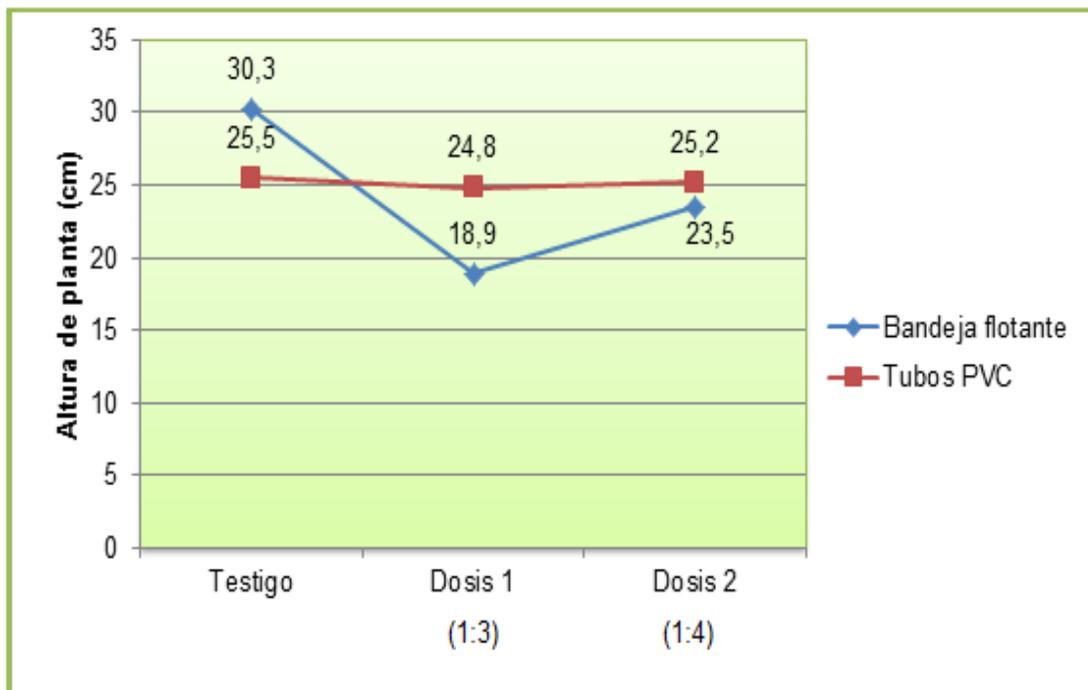


FIGURA 19. Interacción de sistemas y dosis para la altura de planta

Como se observa en la figura 19, la altura de planta obtenida en el sistema bandeja flotante es mayor estadísticamente al obtenido en el sistema tubo PVC para el primer nivel del factor B (testigo).

Contrariamente a ello la altura de planta obtenida en el sistema PVC es mayor estadísticamente a la altura de planta del sistema bandeja flotante para el segundo nivel del factor B (dosis 1).

Finalmente las alturas de plantas para los dos sistemas fueron similares para el tercer nivel del factor B (dosis 2).

Según Patlax (2013) se determinó los resultados en altura de planta con humus de lombriz, 1kg de lombricomposta en 20 L de agua obteniendo una altura de 25,2 cm en la producción de acelga.

Resultados similares obtuvieron Cimrin y Yilmaz (2005) en la lechuga. Casco (2004) hizo aplicaciones foliares de extracto de humus de lombriz en maíz, superando estadísticamente en altura de planta y en peso de rastrojo, comparando con el producto comercial Bayfolan y al testigo sin aplicación. También demostraron

(1:4)

acción directa de sustancias húmicas sobre el desarrollo de la planta por la influencia de procesos metabólicos, fisiológicos y biológicos tales como la respiración y síntesis de ácidos nucleicos. Por lo que las sustancias húmicas podrían ser importantes en la producción de los cultivos.

Por su parte Aruquipa (2008), reportó en altura de planta 18,48 cm en variedad Waldman Green para la solución líquida utilizando la solución FAO.

Al respecto Penningsfeld (1983), afirma que las variaciones en la altura de planta en diferentes concentraciones de nutrientes son marcadas.

Corroborando los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, Beltrán (1992) indica que, el nitrógeno causa un crecimiento en la altura de la planta especialmente en las densidades de siembras altas del cultivo.

4.2.2. Número de hojas

Tomando en cuenta la importancia de las hojas en el cultivo de lechuga, más que todo por su valor comercial, se dio importancia al número de hojas a la cosecha del cultivo.

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

CUADRO 11. ANVA para el número de hojas por planta a la cosecha de la lechuga (Transformación $(\sqrt{x+1})$)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema	1	0,008	0,008	0,12	0,7364	NS
Dosis	2	0,659	0,329	4,88	0,0281	*
S*D	2	0,286	0,143	2,12	0,1628	*
Error	12	0,811	0,068			
CV (%)= 7,48				* Significativo	NS no significativo	

De acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 11, es posible afirmar que la variabilidad originada por los sistemas no es significativa ($P>0.05$). Por otra parte la variabilidad originada por las dosis y la interacción dosis por sistema (S*D), es estadísticamente significativo.

El coeficiente de variación fue de 7,48% lo cual indica que está dentro del rango aceptable, en lo cual los datos fueron tomados cuidadosamente por lo tanto son confiables para el análisis estadística.

CUADRO 12. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable número de hojas, efecto de dosis

DOSIS	NÚMERO DE HOJAS		PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
	Transformado($\sqrt{x + 1}$)	Original	
Testigo	3,66	12	A
Dosis 2	3,55	11	A
Dosis 1	3,21	9	B

El cuadro 12 muestra que los promedios de número de hojas para los efectos de dosis son similares entre el testigo y dosis 2 a diferencia de la dosis 1. Es así que el número de hojas por planta se registra para el tratamiento testigo (12 hojas), sin embargo es estadísticamente similar al número de hojas por planta registrada para el tratamiento de la dosis número 2 (11 hojas) y éste último, superior estadísticamente al número de hojas registrada para la dosis número 1 (9 hojas).

Análisis de la interacción sistema y dosis para número de hojas por planta

CUADRO 13. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para número de hojas por planta.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema (Testigo)	1	0,236	0,236	3,49	0,0862	*
Sistema Dosis 1	1	0,015	0,015	0,22	0,6459	NS
Sistema Dosis 2	1	0,043	0,043	0,64	0,4387	*
Dosis (Bandeja flotante)	2	0,740	0,370	5,48	0,0204	*
Dosis (Tubo PVC)	2	0,206	0,103	1,52	0,2570	*
Error	12	0,811	0,068			

NS: no significativo * significativo

El cuadro 13 análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para número de hojas por planta, se puede observar que existe diferencias significativas para la interacción sistemas dosis 2 (p= 0,4387) y sistemas testigo (p=0,0862).

Por otra parte no existe diferencias significativas entre la interacción sistema dosis 1 ($p=0,6459$).

En otro sentido, la interacción de dosis con sistema bandeja flotante es altamente significativa con una probabilidad ($p= 0,0204$), de igual manera la interacción dosis con sistema tubo PVC es significativo estadísticamente.

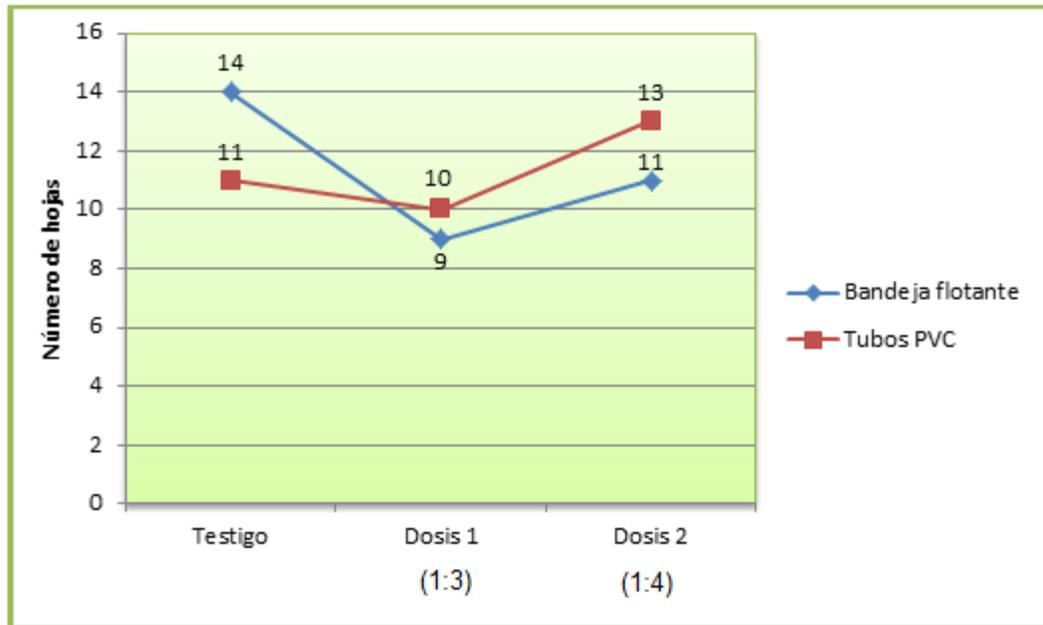


FIGURA 20. Interacción de sistemas y dosis para número de hojas por planta

Como se observa en la figura 20, el número de hojas obtenida en el sistema bandeja flotante es mayor estadísticamente al obtenido en el sistema tubo PVC para el primer nivel del factor B (testigo).

Por el contrario el número de hojas obtenidas para los dos sistemas fueron similares para el nivel del factor B (dosis 1).

Contrariamente a ello el número de hojas obtenida en el sistema PVC es mayor estadísticamente al número de hojas del sistema bandeja flotante para el tercer nivel del factor B (dosis 2).

En contraste con el número de hojas obtenidas por Aruquipa (2008), en sustrato líquido con la solución FAO, 19 hojas en la variedad Waldmann Green.

Según Salinas (2004) menciona que, el número de hojas por planta no solo es el resultado de los nutrientes del suelo, sino también del clima, planta y manejo del cultivo; además por las bajas temperaturas la absorción de nutrientes es menor o se encuentra en estado de reposo, hasta que el suelo tenga una temperatura adecuada para reactivar a los microorganismos posterior a mineralizar los minerales para su fácil absorción de las plantas.

En cuanto al número de hojas obtenidos por Cruz (2003), en sustrato orgánico (entre 25 a 56 unidades); se puede indicar que en el presente trabajo se logró un número menor entre 9 a 14 hojas. Estas diferencias pueden ser genéticas, ya que algunas variedades pueden adaptarse mejor al caldo de humus de lombriz, por la dosis de humus de lombriz aplicado ya que este es de suma importancia por el % de elementos encontrados y la calidad de la misma.

4.2.3. Diámetro de roseta

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

CUADRO 14. ANVA para diámetro de roseta a la cosecha de la lechuga

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema	1	2,420	2,420	1,08	0,3189	NS
Dosis	2	30,368	15,184	6,79	0,0107	*
S*D	2	14,863	7,432	3,32	0,0711	*
Error	12	26,853	2,238			

CV (%)= 5,13

NS: no significativo

* significativo

De acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 14, es posible afirmar que la variabilidad originada por los sistemas no es significativa ($P > 0.05$). Por otra parte la variabilidad originada por las dosis y la interacción dosis por sistema (S*D), es significativa.

El coeficiente de variación es de 5,13% nos indica la confianza de nuestra información por lo tanto existió un buen manejo de las unidades experimentales.

CUADRO 15. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable diámetro de roseta (cm), efecto de dosis

DOSIS	PROMEDIO DIÁMETRO DE ROSETA (cm)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Solución (FAO)	30,195	A
Dosis 2	29,903	A
Dosis 1	27,307	B

El cuadro 15 muestra que los promedios diámetro de roseta para los efectos de dosis son diferentes. Es así que el diámetro de roseta de planta se registra para el tratamiento testigo (30,195 cm), sin embargo es estadísticamente similar al diámetro de roseta registrada para el tratamiento de la dosis número 2 (29,903 cm)

y éste último, superior estadísticamente al diámetro de roseta registrada para la dosis número 1 (27,307 cm).

Análisis de la interacción sistema y dosis para diámetro de roseta

CUDRO 16. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para diámetro de roseta.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema (Testigo)	1	4,455	4,455	2,01	0,1820	*
Sistema Dosis 1	1	9,375	9,375	4,22	0,0623	*
Sistema Dosis 2	1	3,256	3,256	1,47	0,2491	*
Dosis (Bandeja flotante)	2	38,244	19,122	8,62	0,0048	*
Dosis (Tubo PVC)	2	6,651	3,325	1,50	0,2625	*
Error	12	26,853	2,238			

* Significativo

El cuadro 16 muestra el análisis de efecto simple para la variable diámetro de roseta se puede observar diferencias estadísticas, en todos los casos, donde se tiene un comportamiento significativamente diferenciado, del factor sistema con las dosis y testigo empleados en la investigación, como así también el factor dosis tiene un comportamiento significativo debido al efecto de sistemas.

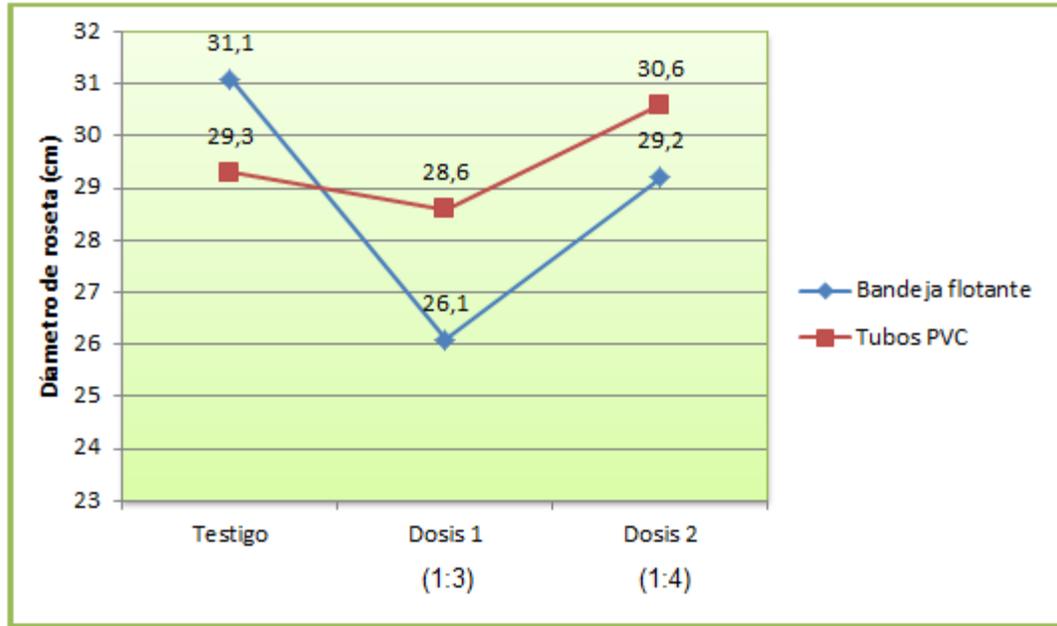


FIGURA 21. Interacción de sistemas y dosis para diámetro de roseta

Como se observa en la figura 21, el diámetro de roseta obtenida en el sistema bandeja flotante es mayor estadísticamente al obtenido en el sistema tubo PVC para el primer nivel del factor B (testigo).

Contrariamente a ello el diámetro de roseta obtenida en el sistema tubo PVC es mayor estadísticamente al diámetro de roseta del sistema bandeja flotante para el segundo nivel del factor B (dosis 1).

Finalmente de la misma manera el diámetro de roseta obtenida en el sistema tubo PVC es mayor estadísticamente al diámetro de roseta del sistema bandeja flotante para el tercer nivel del factor B (dosis 2).

4.2.4. Peso fresco de la planta

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

CUADRO 17. ANVA para peso fresco de la lechuga

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema	1	495,705	495,705	10,24	0,0097	*
Dosis	2	9211,168	4605,584	59,33	< ,0001	**
S*D	2	7285,387	3642,694	45,23	< ,0001	**
Error	12	631,599	52,633			

CV (%)= 8,15

* Significativo

** Altamente significativo

De acuerdo al análisis de varianza, el efecto de sistemas presento significancia estadística. Por otro lado, el efecto de dosis e interacción entre (sistema* dosis) es altamente significativo para el rendimiento comercial o peso fresco de la planta.

El coeficiente de variación es de 9,55%, lo cual indica que los datos son confiables, y que el manejo de las unidades experimentales fue manejado con eficacia.

CUADRO 18. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable peso fresco de planta (gramos), efecto de sistemas

SISTEMA	PROMEDIO DE PESO FRESCO DE LA LECHUGA (gramos)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Tubo PVC	94,298	A
Bandeja flotante	83,802	B

El cuadro 18 muestra que los promedios de peso fresco de planta para el efecto de sistemas son diferentes en todos los casos, formándose 2 grupos. Es así que el mayor peso fresco de planta se registra para el sistema tubo PVC (94,298 gramos), significativamente mayor que la altura de planta registrada para el sistema de bandeja flotante (83,802 gramos).

CUADRO 19. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable peso fresco de planta (cm), efecto de dosis

DOSIS	PROMEDIO DE PESO FRESCO (gramos)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Testigo	106,568	A
Dosis 2	103,473	A
Dosis 1	57,108	B

El cuadro 19 muestra que los promedios de peso fresco de planta para los efectos de dosis son similares entre el testigo y dosis 2 a diferencia de la dosis 1. Es así que el peso fresco de planta se registra para el tratamiento testigo (106,568 gramos), sin embargo es estadísticamente similar al peso fresco de planta registrada para el tratamiento de la dosis número 2 (103,473 gramos) y éste último, superior estadísticamente al peso fresco registrada para la dosis número 1 (57,108 gramos).

Análisis de la interacción sistema y dosis para peso fresco de planta

CUADRO 20. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para peso fresco de la lechuga.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Dosis (Bandeja flotante)	2	12045	6022,425	114,42	<,0001	**
Dosis (Tubo PVC)	2	4451,706	2225,853	42,29	<,0001	**
Sistema (Testigo)	1	3192,888	3192,888	60,66	<,0001	**
Sistema Dosis 1	1	1735,020	1735,020	32,96	<,0001	**
Sistema Dosis 2	1	2853,184	2853,184	54,21	<,0001	**
Error	12	631,599	52,633			

** Altamente significativo

El cuadro 20 muestra el análisis de efecto simple para la variable peso fresco de la lechuga, presenta diferencias altamente significativas, en todos los casos, donde se tiene un comportamiento significativamente diferenciado, del factor sistema con las dosis y testigo empleados en la investigación, como así también el factor dosis tiene un comportamiento significativo debido al efecto de sistemas.

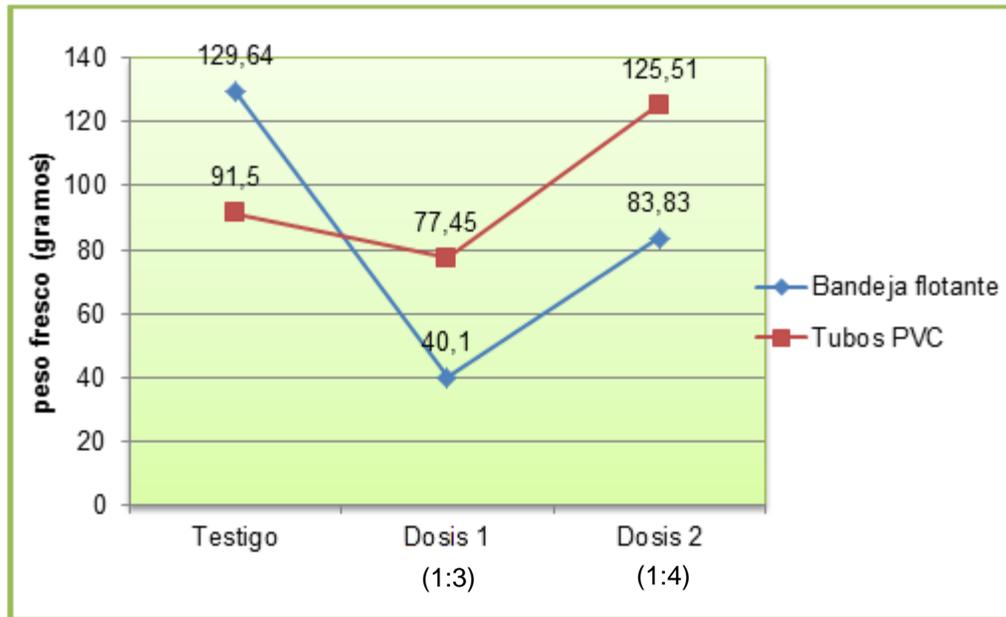


FIGURA 22. Interacción de sistema y dosis para peso fresco de planta

Como se observa en la figura 22, el peso fresco obtenida en el sistema bandeja flotante es mayor estadísticamente al obtenido en el sistema tubo PVC para el primer nivel del factor B (testigo).

Contrariamente a ello el peso fresco de planta obtenida en el sistema PVC es mayor estadísticamente al peso fresco de planta del sistema bandeja flotante para el segundo nivel del factor B (dosis 1).

Finalmente de la misma manera el peso fresco obtenida en el sistema tubo PVC es mayor estadísticamente al peso fresco de planta del sistema bandeja flotante para el tercer nivel del factor B (dosis 2).

Según Ortuño *et al.* (2008), obtuvo en peso de planta, con el tratamiento humus + micorrizas (56,02 g/planta) fue superior al resto, seguido del tratamiento humus + bacterias (48,22 g/planta), siendo el más bajo el testigo solución completa química con (42,69g/planta). El humus tuvo un efecto positivo sobre el incremento del peso de la planta.

Cimrin y Yilmaz (2005), reportaron efectos significativos de ácido húmicos sobre el peso en la planta de lechuga aplicando 300 kg/ha de ácido húmico con 120 kg/ha de fosforo.

Guerrero (1996) y Bellapart (1996), encontrándose los pesos más altos con la dosis de 5,92 litros de humus líquido para 40 litros de solución stock.

En cuanto a Patlax (2003) con té de lombricomposta en la producción de acelga en invernadero con sistema de raíz flotante, produjo plantas con menor cantidad de peso de la parte aérea; el peso promedio alcanzado por las plantas en TL fue de 15,5 gramos, un 80% menor que las plantas en SNC con 77,7gramos.

Según FOCAPACI (2011), obtuvo resultados altos en peso por planta para la variedad Grand Rapids, con dosis (1:3) un peso promedio de 160 gramos, mientras con la dosis (1:4) un peso promedio de 180 gramos por planta en sistema tubo PVC.

4.2.5. Peso seco de la planta

Para la obtención de valores de materia seca se procedió a eliminar la humedad contenida en la materia verde en un 88 a 90%, quedando una humedad residual con un promedio de 11% aceptada para fines de evaluación de peso fresco de planta, resultando una correlación directa con el peso fresco de $r=0,99$ a 1, por lo cual la interpretación y conclusión de los resultados es similar al peso fresco de planta (ver sub título 4.2.4.).

4.2.6. Rendimiento de materia verde en (kg/m²)

De acuerdo al diseño experimental aplicado en el presente trabajo de investigación, los resultados que muestra el análisis de varianza son los siguientes:

CUADRO 21. ANVA para rendimiento de materia verde (kg/m²)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Sistema	1	2,00333472	2,00333472	28,19	0,0002	**
Dosis	2	6,47548844	3,23774422	45,56	<,0001	**
S*D	2	5,28667244	2,64333622	37,19	<.0001	**
Error	12	0,85280800	0,07106733			
CV (%)= 10,72		** Altamente significativo				

De acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 21, es posible afirmar que la variabilidad originada por los sistemas, dosis y la interacción dosis por sistema (S*D), es altamente significativa.

El coeficiente de variación es de 10,72%, lo cual indica que los datos son confiables, y que el manejo de las unidades experimentales fue manejado con eficacia.

CUADRO 22. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable rendimiento de materia verde (kg/m²), efecto de sistemas

SISTEMA	RENDIMIENTO DE MATERIA VERDE (kg/m ²)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Tubo PVC	2,821	A
Bandeja flotante	2,154	B

El cuadro 22 muestra la comparación de medias de rendimiento en materia verde (kg/m²) para los sistemas utilizados según la prueba de Tukey (p=0,05); de acuerdo al mismo las diferencias son significativas, es así que el peso fresco es mayor en sistema tubo PVC 2,821 Kg/m², debido a que en sistema tubos PVC por m² presento mayor número de plantas en comparación de sistema bandeja flotante.

CUADRO 23. Resultados del análisis de rango múltiple correspondiente a prueba de Tukey para la variable rendimiento de materia verde (kg/m²) efecto de dosis

DOSIS	RENDIMIENTO DE MATERIA VERDE (kg/m ²)	PRUEBA DE TUKEY (P < 0.05)
Testigo	2,952	A
Dosis 2	2,869	A
Dosis 1	1,641	B

El cuadro 23 muestra que los promedios de rendimiento de materia verde para los efectos de dosis son similares entre el testigo y dosis 2 a diferencia de la dosis 1. Es así que el rendimiento de materia verde se registra para el tratamiento testigo (2,952 kg/m²), sin embargo es estadísticamente similar al rendimiento de materia verde registrada para el tratamiento de la dosis número 2 (2,869 kg/m²) y éste último, superior estadísticamente al rendimiento registrada para la dosis número 1 (1,641 kg/m²).

Análisis de interacción sistema * dosis para rendimiento de materia verde en (kg/m²)

CUADRO 24. Análisis de varianza de efecto simple de la interacción sistema * dosis para rendimiento de materia verde en (kg/m²).

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr > F	Sig.
Dosis (Bandeja flotante)	2	8,759377	4,379688	61,63	<,0001	**
Dosis (Tubo PVC)	2	3,002784	1,501392	21,13	0,0001	**
Sistema (Testigo)	1	1,115428	1,115428	15,70	0,0019	**
Sistema Dosis 1	1	2,713537	2,713537	38,18	<,0001	**
Sistema Dosis 2	1	3,461042	3,461042	48,70	<,0001	**
Error	12	0,852808	0,071067			

** Altamente significativo

El cuadro 24 muestra el ANVA de efecto simple, para la variable rendimiento de materia verde (kg/m²) presentando diferencias altamente significativas estadísticamente, en todos los casos, donde se tiene un comportamiento

significativamente diferenciado, del factor sistema con las dosis y testigo empleados en la investigación, como así también el factor dosis tiene un comportamiento altamente significativo debido al efecto de sistemas.

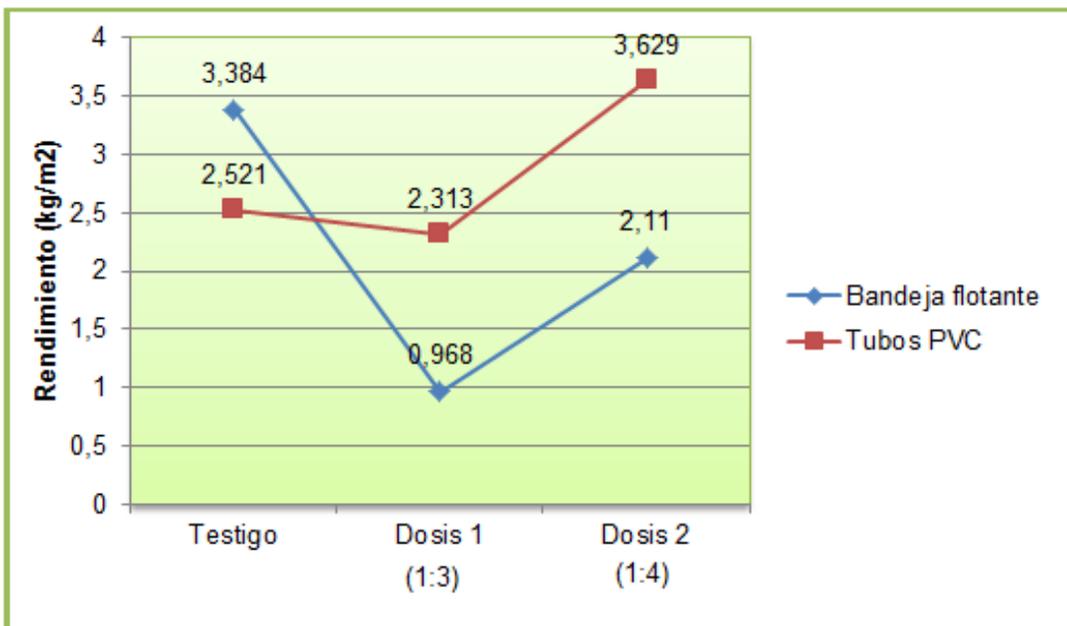


FIGURA 23. Interacción de sistemas y dosis para rendimiento en materia verde

Como se observa en la figura 23, el rendimiento en materia verde (kg/m^2) obtenida en el sistema bandeja flotante es mayor estadísticamente al obtenido en el sistema tubo PVC para el primer nivel del factor B (testigo).

Contrariamente a ello el rendimiento obtenida en el sistema PVC es mayor estadísticamente al rendimiento de materia verde del sistema bandeja flotante para el segundo nivel del factor B (dosis 1).

Finalmente de la misma manera el rendimiento de materia verde obtenida en el sistema tubo PVC es mayor estadísticamente al rendimiento de materia verde del sistema bandeja flotante para el tercer nivel del factor B (dosis 2).

En lo que respecta al rendimiento de materia verde en (kg/m^2) los mejores rendimientos fue en tubos PVC, debido que en bandeja flotante presenta 25 plantas

de lechuga mientras en tubos PVC el número de lechugas por m² es mayor de 30 plantas.

Según Salinas (2004), el rendimiento en materia verde comercial con tratamiento de 10 tn humus/ha presentó un rendimiento en la variedad crespa con 44,8 tn/ha y seguido por variedad señorita con 43,0 tn/ha. Asimismo el mismo autor menciona que García (1996) con el mismo cultivo y el uso de fertilizantes químicos obtuvo rendimientos de 19,7 a 39,0 tn/ha.

En contraste al rendimiento de materia verde Aruquipa (2008) obtuvo resultados de 3,08 kg/m² para la variedad Waldmann Green en sustrato líquido.

4.3. Análisis económico

La evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, para realizar un cambio tecnológico en nuestro sistema de producción, en este caso la producción de lechuga hidropónica orgánica en dos sistemas.

Es considerado de mucha importancia debido a que proporciona información económica, procurando siempre hacerlo desde la perspectiva del agricultor para poder informar de los beneficios que podría obtener en términos de rentabilidad

4.3.1. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado de cada sistema y dosis de humus de lombriz utilizado para la presente investigación es el beneficio medio reducido el 10%, con el fin de reflejar la diferencia entre la ventaja experimental entre dos sistema con dosis de humus de lombriz en lechuga, en una producción comercial.

CUADRO 25 Rendimiento ajustado por una campaña

RENDIMIENTOS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
RENDIMIENTO PROMEDIO Kg/m ²	3,38	0,97	2,1	2,52	2,31	3,63
RENDIMIENTO ajustado (-10%)	3,04	0,87	1,89	2,27	2,08	3,27

En este caso se tomó la recomendación del manual metodológico de evaluación económica del centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), donde se establece una diferencia de 10% del rendimiento entre condiciones experimentales y de producción comercial normal. Este descuento se justifica desde el punto de vista que durante la realización del experimento se tuvo una especial atención y cuidado con las unidades experimentales, lo que no ocurre normalmente en una producción a gran escala.

En el cuadro 24, muestra el rendimiento promedio obtenido para cada tratamiento, donde se puede apreciar que existe mayor rendimiento promedio del T6 (sistema de tubo PVC, 1:4) con 3,63kg/m², seguido por el T1 (Sistema en bandeja flotante, Solución FAO (testigo) con 3,38 kg/m²; el rendimiento más bajo que presentó en el trabajo de investigación fue el T2 (Sistema en bandeja flotante, 1:3) con 0,97 kg/m².

4.3.2. Número de campañas por año

Tomando en cuenta que la utilización del terreno y la instalación del sistema hidropónico para la producción de hortalizas en ambiente atemperados es intensivo, la reducción en el uso del mismo puede reportar mayor número de cosechas al año, por lo tanto mayor producción.

Otro factor determinante es el tiempo de desarrollo hasta la cosecha, el tiempo para el presente trabajo de investigación fue 50 días esto nos indica 5 campañas por año que se puede realizar y por ende mayor ingreso económico.

4.3.3. Beneficio Bruto

El beneficio bruto se determinó multiplicando el rendimiento ajustado para 1.000 m², por el precio promedio de kilogramo de lechuga, para el cálculo de beneficio bruto anual se multiplico el beneficio bruto de una campaña, por el número de campañas al año.

CUADRO 26. Beneficio bruto anual

RENDIMIENTOS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Rendimiento promedio (Kg/1000 m2)	3.380	965	2.096	2.520	2.309	3.630
Rendimiento ajustado (-10%)	3.042	870	1.890	2.270	2.080	3.270
Precio (Bs/Kg)	10	10	10	10	10	10
Beneficio bruto (Bs/1000 m2)	30.420	8.700	18.900	22.700	20.800	32.700
Beneficio bruto/año	152.100	48.500	94.500	113.500	104.000	163.500

Precio de lechuga 400gramos = 4 Bs. según APU (Asociación de productoras urbanas – El Alto).

El cuadro 25 muestra los tratamientos que presentan mejores ingresos brutos por año el T6 con 163.500 Bs /año, seguido del T1 152.100 Bs/año, finalmente el T2 es el que menor beneficio bruto presenta de 48.500 Bs/año.

4.3.4. Costos variables

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comprados, la mano de obra utilizada para las actividades productivas que varían entre los tratamientos.

CUADRO 27. Costos variables por tratamientos Bs/año

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Insumos	3.751,55	3.442,80	2.602,80	2.298,73	1.909,48	1.459,48
Mano de obra	2.510	2.510	2.510	2.325	2.325	2.325
Total costo campaña	2.571,50	2.636	2.612	2.362,50	2.385	2.379
Número de campaña / año	5	5	5	5	5	5
Total costos variables año	31.307,75	29.764	25.564	23.118,65	21.172,40	18.922,40

Según los costos variables los tratamientos que corresponden al sistema de bandeja flotante T1 y T2 son los que presentan los costos más altos debido a la utilización de humus de lombriz en el T2, mientras en el T1 debido a los macro y micronutrientes aplicados.

4.3.5. Costos fijos

Los costos fijos tienen una vida útil mayor a un año, son aquellos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. Para este trabajo se han tomado en cuenta los costos de material de construcción e instalación de los dos sistemas, herramientas y otros gastos.

CUADRO 28. Costos fijos por tratamientos

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Material construcción	4.930	4.930	4.930	6.834	6.834	6.834
Total costos fijos Bs/1000 m²	5.597	5.597	5.597	7.511	7.511	7.511

4.3.6. Costos totales

Son la suma de los costos variables y los costos fijos. Como se muestra en el cuadro 29.

CUADRO 29. Costos totales por tratamientos

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Total costos variables	31.307,75	29.764	25.564	23.118,65	21.172,40	18.922,40
Total costos fijos	5.597	5.597	5.597	7.511	7.511	7.511
Total costo	36.904,75	35.361	31.161	30.629,65	28.683,40	26.433,40

4.3.7. Beneficio Neto

Los beneficios netos nos reflejan ingresos obtenidos luego de restar los costos totales.

CUADRO 30. Beneficios netos anuales

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Beneficio Bruto	152.100	48.500	94.500	113.500	104.000	163.500
Total costos	36.904,75	35.361	31.161	30.629,65	28.683,40	26.433,40
Beneficios Netos Bs/año	115.195,25	13.139	63.339	82.870,35	75.316,60	137.066,60

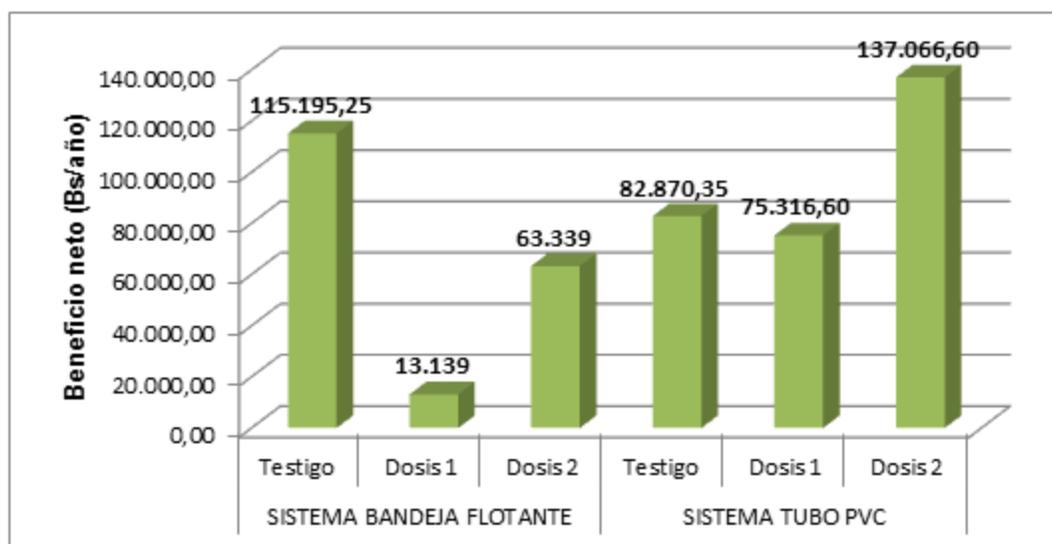


FIGURA 24. Beneficio neto por tratamientos

Realizando un análisis entre los sistemas podemos indicar los siguientes resultados. El caso de T6 (sistema tubo PVC, 1:4) es de 137.066 Bs/año que presenta mayor beneficio neto, el T2 (sistema bandeja flotante, 1:3) es de 13,139 Bs/año con menor número de beneficio neto.

4.3.8. Relación Beneficio / Costo (Bs/año)

Es la relación que existe entre los beneficios brutos sobre los costos de producción, en el cuadro 31 se detallan la relación beneficio/costo anuales.

CUADRO 31. Beneficio /costo anual

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	SISTEMA BANDEJA FLOTANTE			SISTEMA TUBO PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
Beneficio Netos	115.195,25	13.139	63.339	82.870,35	75.316,60	137.066,60
Total costos	36.904,75	35.361	31.161	30.629,65	28.683,40	26.433,40
Beneficio /Costo	3,12	0,37	2.03	2,71	2,63	5,19

Realizando el análisis de relación de beneficio/costo, en base a los costos totales de producción por año y por tratamientos.

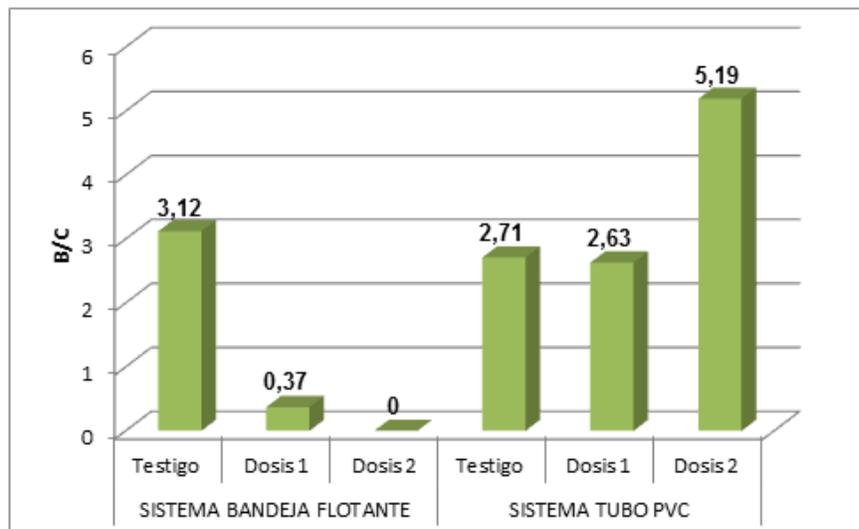


FIGURA 25. Beneficio/costo por tratamientos

Como se puede observar en la figura 25, según los datos obtenidos la mayoría de los tratamientos presentan valores mayores a 1, lo cual indica que son rentables a excepción del T2 que presenta un valor menor a 1 por lo tanto no es rentable. Los tratamientos que tienen valores más altos son el T6 y T1 con un beneficio costo mayor a 4, es decir que por cada boliviano invertido se recupera 4.19 Bs.

4.3.9. Análisis de dominancia

Antes de realizar la curva de beneficio neto y el análisis marginal, es necesario realizar un análisis de dominancia, el cual sirve para excluir algunos tratamientos y como consecuencia simplificar el análisis (CIMMYT, 1988).

CUADRO 32. Análisis de dominancia

TRATAMIENTO	Costos Variables (Bs/m ²)	Beneficio Neto Bs/m ²	DOMINANCIA
T6	26.433	137.067	
T5	28.683,40	75.316,60	D
T4	30.629,65	82.870,35	D
T3	31.161	63.339	D
T2	35.361	35.361	D
T1	36.904,75	115.195,25	

El análisis de dominancia se efectuó, ordenando de menor a mayor los costos por tratamiento. Entonces los tratamientos dominados son el T5, T4, T3 y T2. Por qué presentan beneficios netos menores o iguales a los tratamientos T1 y T6.

4.3.10. Curva de beneficio neto

Cada tratamiento se identifica con un punto, según sus beneficios netos y el total de los costos. Las alternativas que no son dominadas se indican para demostrar que se sitúa por debajo de la curva de beneficios netos. Debido a que solo los tratamientos no dominados se incluyen en la curva, su pendiente siempre será positivo.

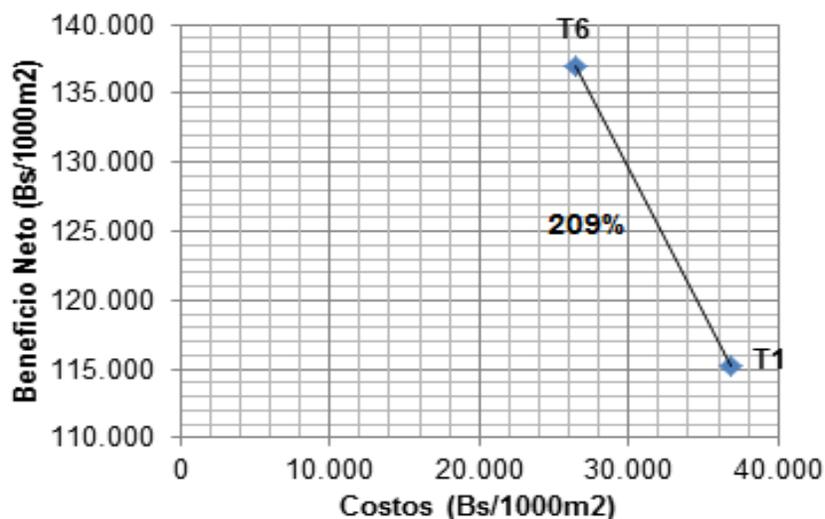


FIGURA 26. Curva de beneficios netos

4.3.11. Tasa de retorno marginal

CIMMYT (1988) indica que, el análisis marginal consiste en comparar los incrementos en beneficios y los incrementos en costos por las agregaciones que se hacen en los ensayos de campo, su propósito es revelar la manera en que los beneficios netos de una inversión aumentan conforme la cantidad invertida crece.

CUADRO 33. Análisis de tasa de retorno marginal

TRATAMIENTOS	Beneficio Neto	Costos Variables	*BN	*CV	TRM %
T6	137.067	26.433			
T1	115.145	36.905	21.922	10.472	209

De acuerdo al cuadro 33 es evidente producir el tratamiento T6 en vez de producir el T1 el agricultor invierte 21.922 Bs y recupera 10.472 bolivianos adicionales, por consiguiente el tratamiento T6 (Sistema tubo PVC, 1:4) es una alternativa para el agricultor.

Realizando la interpretación de la Tasa de Retorno Marginal, por pasar del tratamiento T1 al T6 de cada boliviano invertido en la producción se recupera el boliviano y 2.09 Bs más.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos señalados y resultados obtenidos, luego de haber realizado el respectivo análisis e interpretación se llegó a las siguientes conclusiones:

- En los parámetros evaluados, altura de planta, número de hojas, diámetro de roseta y peso fresco produjeron mayor rendimiento con su máxima expresión en el T1 bandeja flotante (testigo). Esto debido a que la solución FAO presenta los macro y micronutrientes necesarios para el cultivo de lechuga.
- La utilización de caldo de humus de lombriz para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*), tiene efectos significativos en las diferentes variables de respuesta, es así que se obtuvo una altura de 25,2cm en sistema de tubo PVC con dosis (1:4), frente a los otros tratamientos es menor al tratamiento uno esto debido a que el % de N es menor al requerimiento del cultivo.
- El tratamiento que obtuvo mayor rendimiento en materia verde fue la de sistema en tubo PVC con dosis 2 (1:4) con un peso de 3,629 kg/m². Esto se debe que en bandeja flotante presentó 20 plantas/m², mientras que para el sistema de tubo PVC se tuvo 30 plantas/m² ya que el espacio ocupado fue vertical maximizando el uso del suelo.
- El valor de B/C que presentó el T6 (sistema tubo PVC, 1kg de HL/ 4 litros de agua) de 5,19 una tasa de retorno marginal de 209%, seguido del T1 (Sistema bandeja flotante, solución Testigo). Al cambiar de costos con el T1 a T6 el productor puede obtener un retorno adicional de 2,09 Bolivianos más.

VI. RECOMENDACIONES

Con el objeto de enriquecer los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios agronómicos con otros tipos de fertilizantes orgánicos que estén al alcance del agricultor y probar con otras variedades de lechuga, para ver las ventajas que se nos presenten.
- Se recomienda hacer más investigaciones aplicando diferentes dosis de humus de lombriz, para ver las ventajas que se presenten, ya que la hidroponía orgánica es otra de las alternativas para el agricultor.
- Si se quiere utilizar caldo de humus de lombriz como fuente de nutrimento se recomienda utilizar el tratamiento de humus de lombriz (1:4) en sistema de tubo PVC.
- Para que este nuevo sistema de producción orgánica tenga éxito, es necesario que sea social y ecológicamente aceptable por los agricultores ya que toda alternativa a ser desarrollada debe ser comprensible, técnicamente factible, acorde a sus necesidades económicas.
- Económicamente se recomienda producir bajo el sistema de tubo PVC con dosis de humus de lombriz (1:4).

VII. BIBLIOGRAFIA

- Alpizar, L. 2004.** Hidroponía: Cultivo sin tierra. Cartago, CR, Tecnología de Costa Rica. 105 p.
- Aruquipa, R. 2008.** “Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo sustrato (sólido y líquido) en el municipio del alto”. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz- Bolivia. p. 57.
- Blanco, J. 2013.** “Determinación de la calidad de estiércol de vicuña en dos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo ambiente protegido en Patacamaya”. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de agronomía. La Paz – Bolivia. p. 4.
- Callisaya, M. 2006.** Manejo y Producción de Lechuga en carpas solares como parte de la actividad ocupacional de Jóvenes discapacitados del hogar de Callutaca en el Municipio de Laja. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia. 97 p.
- Casseres, E. 1984.** Producción de hortalizas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José - Costa Rica, p. 387.
- Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. 2000.** Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.
- Chilon, E. 1997.** Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Ediciones CIDAC. La Paz – Bolivia. 170 - 185 pp.
- Cimrin, K.M. e I. Yilmaz, (2005).** Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. Vol. 55, pp. 58-63.
- CIMMYT, 1988,** Manual Metodológico de evaluación económica, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México D.F.

Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica.

2000. Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 17 enero. 2015. Disponible en http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html

FAO, 2003. Oficina regional de la FAO. Para América latina y el caribe. 3ª. Edición. Santiago (Chile). 20 p.

Favela, E., Preciado, P., Benavides, A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila.

García-Pérez, Rafael E. 2006. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura, Universidad Autónoma de Chapingo, México. 177 p.

Gliessman, R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Litocat. Turrialba, Costa Rica.

Guzmán, G. 2005. Hidroponía en casa: una actividad familiar. Ministerio de agricultura y ganadería. San José, C.R. 10p.

Hartman, F. “Invernaderos y ambiente atemperados”. Edición FIDE, Bolivia Ltda. La Paz – Bolivia. 9-30p.

Hudson, N. 2002. Conservación del suelo. México: Reverté

Ingham, R. E. 2005. The Compost Tea Brewing Manual. 5th Edition. Soil Foodweb Inc, Corvallis, Oregon. USA. 79 p.

Landa, J.A. y Coxca, M. 2010. Evaluación de 5 sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo condiciones de invernadero en la zona de Xalapa, Veracruz. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana.

- Luévano A. y Velázquez N.E. 2001.** Ejemplo singular en los agronegocios. Estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso. Rev. Mex. Agron. 9:306-320.
- Mallar, A. 1978.** La lechuga. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp 3 -30.
- Martínez C. 1999.** Potencial de la lombricultura, elementos básicos para subdesarrollo. 2ª Edición. Lombricultura Técnica Mexicana. Texcoco, Estado de México, p. 250.
- Moreno, A. 2006.** Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Moroto, J. 1995.** Horticultura herbácea especial. 4º Edición. España. Mundi - Prensa. p 208 – 213.
- Maroto, J. 2008.** Elementos de horticultura general. Editorial Mundi – Prensa. Madrid, España.
- Marulanda, C. 2003,** Hidroponía familiar en Colombia desde el eje cafetalero, Editorial Optigraf, Armenia – Colombia. Pp. 41-50
- Nájera, M et al. 1998.** Caracterización del sistema agrario que comprende la zona de retornados Nueva Esperanza, Nentón, Huehuetanango, Guatemala. Guatemala, FAO / USAC. 140 p.
- Najera, A., 1999.** Evaluación del composteo como método para el tratamiento de los residuos cítricos, probando dos diferentes sistemas de aeración. Tesis de maestría en ingeniería ambiental. Facultad de ingeniería de la UADY. Mérida, Yucatán. 83 p.
- Navarro B. y Navarro G. 2003.** Química Agrícola; el suelo y los elementos químicos esenciales 2ª ed. Editorial Mundi- Prensa. Barcelona, España.

Ochoa-Martínez, E.; Figueroa-Viramontes, U.; Cano-Ríos, P.; Preciado-Rangel, P.; Moreno-Reséndez, A. y Rodríguez-Dimas, N. Té De Composta como Fertilizante Orgánico en la Producción de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura [en línea] 2009, vol. 15 [Citado 2014-11-22]. Disponible en:
Internet:<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=60912186004>.

Pati, A. 2010. Manual de lombricultura y compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos como parte de gestión integral. La paz Bolivia. 39.

Patlax, O. 2013. “Té de lombricomposta y solución nutritiva en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) en invernadero con sistema de raíz flotante”. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana.

Perrin, et al. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Publicado por CIMMYT. Programa de Economía. p 24.

PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, HN); IIFM (Instituto de Investigaciones y Fomento Municipal, HN). 1997. Hidroponía popular, cultivos sin tierra, guía práctica. Nicaragua. 42 p.

Resh M., H. 2006. Cultivos Hidropónicos. 5a ed. Editorial Mundi-prensa. Barcelona, España.

Rodríguez, A. 2005. Hidroponía: altos rendimientos en el cultivo de hortalizas. Boletín Quincenal de Inteligencia Agroindustrial. No.2 Vol. 1. Julio 1. 2005. México. Consultado 20 septiembre 2014. Disponible en:
<http://www.focir.gob.mx/documentos/boletin/infocirjul1.pdf>

Rodríguez, P.F., Velásquez G., Chamorro C. y Martínez N. 1992. Adaptación tecnológica de la lombricultura en zona cafetalera de Alban Candinamarca. Acta Biológica Colombiana. 7, 91-109 p.

- Rodríguez Dimas, Norma; Cano Ríos, Pedro; Figueroa Viramontes, Uriel; Favela Chávez, Esteban; Moreno Reséndez, Alejandro; Márquez Hernández, Cándido; Ochoa Martínez, Esmeralda y Preciado Rangel, Pablo.2009.** Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana vol. 27 [citado 2014-9-20]. Disponible en: Internet:<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=5731304000> 6. ISSN 1870-9982.
- Rodríguez, G. 2003.** Evaluación de sustratos orgánicos para la producción de lombricomposta con *Eisenia fetida*. Naturaleza y desarrollo.
- Salinas, I. 2004.** Efecto de humus de residuos urbanos sobre las propiedades de suelo y en la producción de lechuga. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia. 97 p.
- Sánchez, C. R. 2004.** Hidroponía; Paso a Paso-Cultivo sin tierra. Ed. RIPALME Lima, Perú. p 16,17, 44.
- Sánchez, C.2003.** Abonos Orgánicos y Lombricultura. Lima-Perú. Ediciones Ripalme.p.135
- Taiz L. y Zeiger E. 2006.** Tratado de cultivo sin suelo. 3ª ed. Editorial Mundi – Prensa. Barcelona, España.
- Sánchez, F. y Escalante, E. 1988.** Hidroponía; Principios y métodos de cultivo. Ed. Imprenta Universitaria Universidad Autónoma de Chapingo, México. p 194.
- Urrestarazu G., M. 2004.** Tratado de cultivo sin suelo. 3a ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Vigliola, M. 1992.** Manual de hortalizas. Ed. Hemisferio sur S.A. buenos Aires, Argentina. p 81-89

ANEXOS

ANEXO 1.

Cálculo para humus de lombriz

- Para sistema de bandeja flotante, 1kg de humus de lombriz/3 litros de agua (tres repeticiones)

$$\begin{array}{r} 1\text{kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 3 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 50 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 16,67\text{kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 50 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 150 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$X = 16,67\text{kg de humus de lombriz (HL)}$$

$$X = 50 \text{ kg de humus de lombriz}$$

- Para sistema en bandeja flotante, 1kg de humus de lombriz /4 litros de agua (tres repeticiones)

$$\begin{array}{r} 1\text{kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 4 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 50 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 12,50 \text{ kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 50 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 150 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$X = 12,50 \text{ kg de humus de lombriz (HL)}$$

$$X = 37,50 \text{ kg de humus de lombriz}$$

- Para sistema de tubo PVC, 1kg de humus de lombriz/3 litros de agua (tres repeticiones)

$$\begin{array}{r} 1\text{kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 3 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 18 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6 \text{ kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 18 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 54 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$X = 6 \text{ kg de humus de lombriz (HL)}$$

$$X = 18 \text{ kg de humus de lombriz}$$

- Para sistema de tubo PVC, 1kg de humus de lombriz /4 litros de agua (tres repeticiones)

$$\begin{array}{r} 1\text{kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 4 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 18 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4,50 \text{ kg HL} \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 18 \text{ litros de agua} \\ X \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 54 \text{ litros de agua} \end{array}$$

$$X = 4,50 \text{ kg de humus de lombriz (HL)}$$

$$X = 13,50 \text{ kg de humus de lombriz}$$

Total humus de lombriz empleado en la investigación =119 * 2= 238 kg.

- Para testigo (solución Marulanda) sistema bandeja flotante

250ml solución A; 100 ml de solución B

- Para testigo (solución Marulanda) sistema tubo PVC

90 ml de solución A; 36 ml de solución B

ANEXO 2.
BASE DE DATOS

Variable: Altura de planta.

Promedio de altura de planta del cultivo de lechuga a la cosecha

Repetición	Bandeja flotante			Tubo PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
I	31,1	20,3	26,3	25,8	24,7	23,8
II	30,5	19,7	21,7	26,5	25,2	27
III	29,2	16,8	22,5	24,1	24,5	24,7

Variable: Número de hoja

Promedio de Número de hoja del cultivo de lechuga a la cosecha

Repetición	Bandeja flotante			Tubo PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
I	15	16	11	10	12	11
II	9	9	9	9	9	11
III	11	11	11	9	16	12

Variable: Diámetro de roseta

Promedio de diámetro de roseta (cm.) del cultivo de lechuga a la cosecha

Repetición	Bandeja flotante			Tubo PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
I	32,8	27,5	29,5	29,8	28,3	29,8
II	30,2	23,5	30,2	30,2	29,7	32,4
III	30,3	27,2	27,8	28,0	27,7	29,7

Variable: Peso fresco

Promedio de peso fresco (gr.) del cultivo de lechuga a la cosecha

Repetición	Bandeja flotante			Tubo PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
I	130,3	43,1	72,7	98,0	76,5	120,7
II	133,0	39,0	84,8	81,3	68,2	130,7
III	125,6	38,2	87,5	71,2	77,7	125,3

Variable: Rendimiento comercial

Promedio de Rendimiento comercial (Kg/m²) del cultivo de lechuga

Repetición	Bandeja flotante			Tubo PVC		
	Testigo	Dosis 1	Dosis 2	Testigo	Dosis 1	Dosis 2
I	3,648	0,966	2,079	2,486	2,050	3,423
II	3,735	0,985	2,120	2,743	2,437	3,845
III	2,768	0,954	2,132	2,335	2,453	3,620

ANEXO 3.
COSTOS DE PRODUCCIÓN

Costo de fabricación de los contenedores (9 unidades)

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	Total (Bs)
Madera larguera (1m)	Pieza	18	106,00
Madera laterales (1m)	Pieza	18	106,00
Madera para patas (0,65 m)	Pieza	24	89,87
Madera de base (1m)	Pieza	156	104
Nylon	Metro	18	67,00
Clavos 2 ½ "	Kilo	2	24,00
Clavos 3 "	Kilo	1	12,00
Lija	Metro	1	2,50
Esponja	225 Pieza	1	10
Plastaformo	Pieza	18	63,00
Grapas	Caja	1	15,00
Mano de obra	Jornal	2	130,00
Total			729,37

Costo de fabricación sistemas para Tubo PVC (8m²)

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	Total (Bs)
Madera (4m)	Pieza	23	184
Tubo PVC	Pieza	12	1140
Clavos 2 ½ "	Kilo	3	36
Clavos 3 "	Kilo	2	24
Esponja	Pieza	1	35
Fierro ½	Pieza	1	15
Mano de obra	Jornal	2	130
Total			1564

Total de los costos variables en el ensayo (Bs/1000 m²)

I. INSUMOS

INSUMOS	TRATAMIENTOS					
	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3
Semilla de lechuga	26,80	26,80	26,80	33,48	33,48	33,48
Humus de lombriz	0	3.340	2.500	0	1.800	1.350
solución Marulanda	3.648,75	0	0	2.189,25	0	0
Ruda	60	60	60	60	60	60
Levadura	16	16	16	16	16	16
TOTAL INSUMOS Bs/año (1000 m²)	3.751,55	3.442,80	2.602,80	2.298,73	1.909,48	1.459,48

II. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTOS					
	a1b1	a1b2	a1b3	a2b1	a2b2	a2b3
Almacigo	390	390	390	390	390	390
Riego	65	65	65	65	65	65
Trasplante	130	130	130	130	130	130
A. Solución nutritiva						
Preparación del caldo de humus de lombriz	0	130	130	0	130	130
Preparación de Solución Marulanda	65	0	0	65	0	0
B. Labores						
Refalle	65	65	65	65	65	65
Oxigenación	780	780	780	780	780	780
Control fitosanitario	65	65	65	65	65	65
Cosecha	65	65	65	65	65	65
C. Comercialización						
Corte	80	80	80	80	80	80
Recolección	130	130	130	130	130	130
Selección y Empaque	65	65	65	65	65	65
SUB-TOTAL MANO DE OBRA	1900	1965	1965	1900	1965	1965

ANEXO 4.
FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN



FOTOGRAFIA 1. Humedad de la cama y estiércoles



FOTOGRAFIA 2. Cosecha de Humus de lombriz



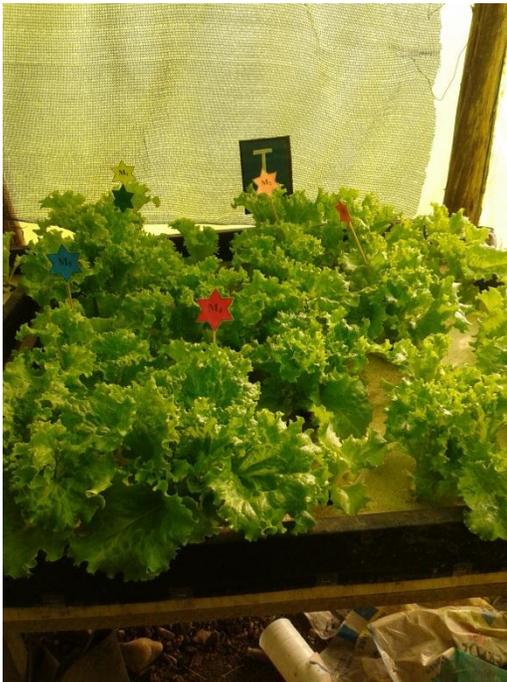
FOTOGRAFIA 3. Oxigenación en bandeja flotante



FOTOGRAFIA 4. Oxigenación en tubos PVC



FOTOGRAFIA 5. Control fitosanitario



FOTOGRAFIA 6. T3 a la cosecha



FOTOGRAFIA 7. T2 a la cosecha



FOTOGRAFIA 8. Comparación de tratamientos en bandeja flotante



FOTOGRAFIA 9. Comparación de tratamientos en tubos PVC

ANEXO 5. Evaluación en sistema tubos PVC



7 DÍAS



14 DÍAS



21 DÍAS



28 DÍAS



35 DÍAS



42 DÍAS



50 DÍAS (cosecha)

ANEXO 6.
PREPARACIÓN DEL CALDO DE HUMUS DE LOMBRIZ



Proceso de pesado del humus de lombriz



Mezcla (humus - agua)



Distribución a las unidades experimentales



Tamizado

ANEXO 7.
ANÁLISIS DE CALDO DE HUMUS DE LOMBRIZA



MINISTERIO DE EDUCACION

*INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL*

ANALISIS FÍSICO-QUIMICO DE HUMUS

INTERESADO : *MERY CALSINA CHURATA*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia MURILLO,
Ciudad EL ALTO, Zona VILLA ADELA

N° SOLICITUD: *033A / 2015*
FECHA DE RECEPCION : *03 / Febrero / 2015*
FECHA DE ENTREGA : *03 / Marzo / 2015*

PRODUCTO : *MUESTRA DE ABONO: 1 kg humus de lombriz, 3 L agua.*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
112-01 /2015	Nitrógeno	0,34	% N	Kjeldahl
112-02 /2015	Fósforo	0,035	g/l P	Espectrofotometría UV-Visible
112-03 /2015	Potasio	0,130	g/l K	Emisión atómica
112-04 /2015	pH	7,12	-	Potenciometría
112-05 /2015	Conductividad eléctrica	0,244	mS / cm	Conductancia

OBSERVACIONES.- *Resultados en base húmeda.*

RESPONSABLE DE LABORATORIO



MINISTERIO DE EDUCACION

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANALISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANALISIS FÍSICO-QUIMICO DE HUMUS

INTERESADO : *MERY CALSINA CHURATA*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia MURILLO,
Ciudad EL ALTO, Zona VILLA ADELA

Nº SOLICITUD: *033B / 2015*
FECHA DE RECEPCION : *03 / Febrero / 2015*
FECHA DE ENTREGA : *03 / Marzo / 2015*

PRODUCTO : *MUESTRA DE ABONO: 1 kg humus de lombriz, 4 L agua.*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
113-01 /2015	Nitrógeno	0,22	% N	Kjeldahl
113-02 /2015	Fósforo	0,026	g/l P	Espectrofotometría UV-Visible
113-03 /2015	Potasio	0,078	g/l K	Emisión atómica
113-04 /2015	pH	6,99	-	Potenciometría
113-05 /2015	Conductividad eléctrica	0,195	mS / cm	Conductancia

OBSERVACIONES.- *Resultados en base húmeda.*

RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.