

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



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA
(*Lactuca sativa* L.) CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA DE FLUJO
LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE
COTA COTA - LA PAZ

RIVERA ARREDONDO NANO MARTIN

LA PAZ, BOLIVIA

2015

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

EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA
(*Lactuca sativa* L.) CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA DE FLUJO
LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE
COTA COTA - LA PAZ

*Tesis de Grado presentada como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

Rivera Arredondo Nano Martin

ASESORES:

Ing. Freddy Porco Chiri

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M.sc. Eduardo Chilon Camacho

Ing. René Calatayud Valdez

Ing. Jonhy Cesar Pánfilo Oliver Cortez

APROBADA:

Presidente tribunal examinador

La Paz, Bolivia

2015

DEDICATORIA

A Dios, quien siempre ha estado conmigo, por sobre todas las cosas, en todos los momentos de mi vida.

A mi hija, Vianca Esther que me da valor y fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, Pedro Rivera Quispe y Yolanda Guadalupe Mamani por su apoyo constante y la confianza depositada a lo largo de mis estudios.

A mis hermanas(os) Ricardo, Norah, Patricia y Álvaro.

A mis hermanos Javier Leonardo y Raúl Yayo Rivera Arredondo que están en el cielo y que en vida fueron un ejemplo de superación e inspiración.

A todos los que han llegado a conocerme y me han tratado con mucho Cariño y confianza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme conseguir mis objetivos.

A Todos los Docentes que fueron parte en mi formación académica, profesores que hacen un trabajo inmenso en la formación de profesionales.

Ing. Agr. Willams Alex Murillo Oporto, agradezco su asesoría, ayuda y todo el tiempo que dedicó a realizar esta investigación y permitirme tomar como ejemplo su amplia experiencia, la cual ha sido una motivación para llevar a cabo esta investigación.

Ing. Agr. Freddy Porco Chiri, por su asesoría, apoyo material y tiempo dedicado a esta investigación.

A mis amigos Janeth, Eliana, María y Jafer por el apoyo moral brindado durante estos años.

Al grupo de amigos V.L. por haberme mostrado y enseñado las diferentes formas de vida que llevan muchas personas.

A la Facultad de Agronomía, por permitirme realizar esta investigación en el Centro Experimental de Cota Cota, La Paz - Bolivia.

Y a la Universidad Mayor de San Andrés, por permitirme formar parte de esta prestigiosa casa de estudios superiores.

CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

| | Pag. |
|------------------------|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | I |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | Vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | Viii |
| INDICE DE ANEXOS..... | ix |
| RESUMÉN..... | xi |
| ABSTRACT..... | xiii |

INDICE GENERAL

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Objetivos..... | 2 |
| 1.1.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.1.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.2. Hipotesis..... | 2 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1. Hidroponía..... | 3 |
| 2.2. Historia de la hidroponía..... | 4 |
| 2.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía..... | 4 |
| 2.3.1. Ventajas..... | 4 |
| 2.3.2. Desventajas..... | 6 |
| 2.4. La hidroponía en Bolivia..... | 8 |
| 2.5. Nutrición de las plantas..... | 8 |
| 2.5.1. Nutrición mineral..... | 9 |
| 2.5.2. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas..... | 9 |
| 2.5.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad de los elementos esenciales..... | 11 |
| 2.6. Solución nutritiva..... | 12 |
| 2.6.1. Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía..... | 13 |
| 2.6.2. pH de la solución nutritiva..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 2.6.2.1. Efecto de pH en cultivos hidropónicos..... | 14 |
| 2.6.2.2. pH por cultivo..... | 15 |
| 2.6.3. Conductividad Eléctrica de la solución nutritiva..... | 16 |
| 2.6.3.1. Efecto de la CE en cultivos hidropónicos..... | 16 |
| 2.6.3.2. Conductividad eléctrica por cultivo..... | 16 |
| 2.6.4. Vida útil de la solución nutritiva..... | 17 |
| 2.7. Sistemas de cultivos hidroponicos..... | 18 |
| 2.7.1. Sistema de cultivo en medio liquido..... | 18 |
| 2.7.1.1. Técnica de raíz flotante..... | 18 |
| 2.7.1.2. Técnica NFT y NFT modificado..... | 18 |
| 2.7.1.3. Técnica de aeroponía..... | 19 |
| 2.7.1.4. Técnica de acuaponía..... | 19 |
| 2.7.2. Sistema de cultivo en medio inerte..... | 19 |
| 2.7.2.1. Sustratos de origen orgánico..... | 19 |
| 2.7.2.2. Sustratos de origen inorgánico..... | 20 |
| 2.7.2.3. Mezclas de Sustratos..... | 20 |
| 2.8. Plagas de los cultivos hidropónicos..... | 20 |
| 2.8.1. Plagas insectiles en cultivos hidropónicos..... | 21 |
| 2.8.2. Enfermedades en cultivos hidropónicos..... | 21 |
| 2.9. Hortalizas utilizadas más frecuentes en hidroponía..... | 22 |
| 2.10. El cultivo de la lechuga..... | 22 |
| 2.10.1. Taxonomía..... | 22 |
| 2.10.2. Morfología..... | 22 |
| 2.10.3. Requerimientos agroecológicos y manejo del cultivo de lechuga..... | 23 |
| 2.10.4. Composición y Valor Alimenticio de la lechuga..... | 24 |
| 2.10.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de la lechuga..... | 25 |
| 2.10.6. Variedades de lechuga..... | 25 |
| 2.10.6.1. Waldmann's Green..... | 26 |
| 2.10.6.2. White Boston..... | 26 |
| 2.10.6.3. Grand Rapids TBR..... | 27 |
| 2.10.7. Cultivo hidropónico de lechuga..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 3. LOCALIZACIÓN..... | 28 |
| 3.1. Ubicación geográfica..... | 28 |
| 3.2. Características Climáticas..... | 29 |
| 3.3. Suelo..... | 29 |
| 3.4. Vegetación y Pecuaria..... | 29 |
| 4. MATERIALES Y METODOS..... | 30 |
| 4.1. Materiales..... | 30 |
| 4.1.1. Material vegetal..... | 30 |
| 4.1.2. Material de laboratorio..... | 30 |
| 4.1.3. Material de campo..... | 30 |
| 4.1.4. Material químico..... | 31 |
| 4.1.5. Material de escritorio..... | 31 |
| 4.2. Metodología..... | 31 |
| 4.2.1. Trabajo de campo..... | 31 |
| 4.2.1.1. Almacigos..... | 31 |
| a) Almacigo de esponja..... | 31 |
| b) Almacigo de sustrato inerte..... | 32 |
| 4.2.1.2. Contenedores de crecimiento..... | 32 |
| 4.2.1.3. Armado de la Estructura del sistema flujo laminar de nutrientes..... | 32 |
| a) Nivelado del suelo para la estructura..... | 32 |
| b) Pirámide de madera..... | 33 |
| c) Canales de cultivo..... | 33 |
| d) Estanque colector..... | 33 |
| e) Red o tubería de distribución..... | 33 |
| f) Bomba de agua..... | 33 |
| g) Tubería colectora..... | 34 |
| 4.2.1.4. Agua para la solución nutritiva..... | 34 |
| 4.2.1.5. Preparación de la solución nutritiva para el primer trasplanté..... | 34 |
| 4.2.1.6. Primer trasplante o post almacigo..... | 35 |
| 4.2.1.7. Preparación de la solución nutritiva para el trasplanté definitivo..... | 35 |
| 4.2.1.8. Trasplante definitivo..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1.9. Medición de la temperatura..... | 35 |
| a) Temperatura de la carpa..... | 36 |
| b) Temperatura de la solución..... | 36 |
| 4.2.1.10. pH de la solución nutritiva..... | 37 |
| 4.2.1.11. Conductividad eléctrica..... | 37 |
| 4.2.1.12. Cosecha..... | 37 |
| 4.2.2. Diseño experimental..... | 37 |
| 4.2.3. Croquis del experimento..... | 39 |
| 4.2.4. Variables de respuesta..... | 39 |
| 4.2.4.1. Porcentaje de germinación..... | 39 |
| 4.2.4.2. Largo de raíz..... | 40 |
| 4.2.4.3. Porcentaje de mortandad..... | 40 |
| 4.2.4.4. Numero de hojas..... | 40 |
| 4.2.4.5. Volumen de raíz..... | 40 |
| 4.2.4.6. Rendimiento en peso fresco..... | 40 |
| 4.2.4.7. Análisis económico parcial..... | 41 |
| a) Beneficio Bruto (BB)..... | 41 |
| b) Costos Variables (CV)..... | 41 |
| c) Costos Fijos..... | 41 |
| d) Costos Totales..... | 42 |
| e) Beneficio Neto (BN)..... | 42 |
| f) Relación Beneficio / costo (B/C)..... | 42 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 43 |
| 5.1. Variable de respuesta en almacigo..... | 43 |
| 5.1.1. Porcentaje de germinación en almaciguera..... | 43 |
| 5.1.1.1. Comparación de medias para el porcentaje de germinación..... | 44 |
| 5.2. Variables de respuesta en contenedores de crecimiento..... | 45 |
| 5.2.1. Largo de raíz en contenedores de crecimiento..... | 45 |
| 5.2.1.1. Comparación de medias para el largo de raíz..... | 47 |
| 5.3. Variables de respuesta en sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT)..... | 49 |
| 5.3.1. Porcentaje de mortandad en el sistema NFT..... | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 5.3.1.1. Comparación de medias para el porcentaje de mortandad..... | 49 |
| 5.3.2. Numero de hojas en el sistema NFT..... | 51 |
| 5.3.2.1. Comparación de medias para el número de hojas..... | 53 |
| 5.3.3. Volumen de raíz en el sistema NFT..... | 55 |
| 5.3.3.1. Comparación de medias para el volumen radicular..... | 57 |
| 5.3.4. Rendimiento en peso fresco en el sistema NFT..... | 58 |
| 5.3.4.1. Comparación de medias para el rendimiento peso fresco..... | 60 |
| 5.3.5. Análisis Económico Parcial..... | 61 |
| 5.3.5.1. Rendimiento ajustado..... | 61 |
| 5.3.5.2. Número de campañas por año de las variedades..... | 62 |
| 5.3.5.3. Beneficio bruto..... | 63 |
| 5.3.5.4. Costos variables..... | 63 |
| 5.3.5.5. Costos fijos..... | 64 |
| 5.3.5.6. Costos totales..... | 65 |
| 5.3.5.7. Beneficio neto..... | 65 |
| 5.3.5.8. Relación beneficio costo (Bs/año)..... | 66 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 67 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 8. BIBLIOGRAFIA..... | 70 |

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

| | Pag. |
|--|-------------|
| Cuadro 1. Comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos..... | 7 |
| Cuadro 2. Funciones de los elementos nutritivos..... | 10 |
| Cuadro 3. Deficiencias y toxicidad de elementos esenciales..... | 11 |
| Cuadro 4. Soluciones Nutritivas y sus concentraciones en ppm para la lechuga..... | 14 |
| Cuadro 5. Porcentaje de absorción de los elementos nutritivos respecto a la acidez del medio (pH)..... | 14 |
| Cuadro 6. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo..... | 15 |
| Cuadro 7. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo..... | 17 |
| Cuadro 8. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH..... | 17 |
| Cuadro 9. Requerimientos agroecológicos y manejo de la lechuga..... | 23 |
| Cuadro 10. Contenido nutricional promedio en 100 g de hojas de lechuga..... | 24 |
| Cuadro 11. Contenido de minerales en cada 100 g de hojas de lechuga..... | 24 |
| Cuadro 12. Absorción de Nutrientes por Hectárea de un Cultivo de Lechuga..... | 25 |
| Cuadro 13. Requerimiento de nutrientes para lechuga en ppm o mg/l..... | 25 |
| Cuadro 14. Requerimiento en gr para 1000 l..... | 25 |
| Cuadro 15. Interacción de los factores A y B..... | 38 |
| Cuadro 16. Porcentaje de germinación de las tres variedades de lechuga..... | 43 |
| Cuadro 17. Largo total de raíz de la planta entre variedades de lechuga bajo dos tipos de almacigo..... | 46 |
| Cuadro 18. ANVA para la altura de planta del cultivo de lechuga..... | 46 |
| Cuadro 19. Porcentaje de mortandad de las tres variedades de lechuga..... | 49 |
| Cuadro 20. Número de hojas entre variedades de lechuga bajo efecto de dos tipos de almácigos..... | 52 |
| Cuadro 21. ANVA para número de hojas del cultivo de lechuga..... | 52 |

| | | | |
|--------|-----|---|----|
| Cuadro | 22. | Volumen radicular entre variedades de la lechuga bajo efecto de dos diferentes tipos de almacigo..... | 55 |
| Cuadro | 23. | ANVA para el volumen radicular del cultivo de lechuga..... | 56 |
| Cuadro | 24. | Peso de materia verde por planta entre variedades bajo efecto de tipos de almacigo..... | 58 |
| Cuadro | 25 | ANVA para el peso de materia verde por planta del cultivo de lechuga..... | 59 |
| Cuadro | 26 | Rendimiento ajustado por una campaña..... | 62 |
| Cuadro | 27 | Beneficio bruto anual..... | 63 |
| Cuadro | 28 | Costos variables por variedades (Bs/año)..... | 64 |
| Cuadro | 29 | Costos fijos por variedades (Bs/año)..... | 64 |
| Cuadro | 30 | Costos totales por variedades..... | 65 |
| Cuadro | 31 | Beneficios netos anuales..... | 65 |
| Cuadro | 32 | Beneficio costo anual..... | 66 |

INDICE DE FIGURAS

| | | | Pag. |
|--------|----|---|-------------|
| Figura | 1 | Sistemas y Medios para Cultivos Sin Suelo..... | 3 |
| Figura | 2 | Ubicación invernadero de Horticultura, lugar donde se llevó a cabo la investigación..... | 28 |
| Figura | 3 | Distribución de las unidades experimentales..... | 39 |
| Figura | 4 | Ciclo productivo de la lechuga en sistemas hidropónicos..... | 43 |
| Figura | 5 | Porcentaje de germinación de las tres variedades de lechuga en dos tipos de almacigo..... | 44 |
| Figura | 6 | Largo de raíz del cultivo de lechuga por tratamiento..... | 47 |
| Figura | 7 | Porcentaje de mortandad de las tres variedades de lechuga en dos tipos de almacigo..... | 50 |
| Figura | 8 | Número de hojas del cultivo de lechuga por tratamientos..... | 53 |
| Figura | 9 | Volumen radicular del cultivo de lechuga por tratamientos..... | 57 |
| Figura | 10 | Peso fresco por planta del cultivo de lechuga por tratamientos..... | 60 |

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Hortalizas utilizadas en hidroponía.
- Anexo 2. Composición química del fertilizante Plant – Prod
- Anexo 3. Presupuesto del sistema hidropónico recirculante "NFT".
- Anexo 4. Presupuesto para la piscina contenedor (Área de crecimiento inicial).
- Anexo 5. Presupuesto para el módulo de germinación (almacigo de esponja corriente).
- Anexo 6. Presupuesto para el módulo de germinación (almacigo sustrato inerte).
- Anexo 7. Presupuesto para la construcción de un invernadero para hidroponía.
- Anexo 8. Calculo de la Depreciación.
- Anexo 9. Aaálisis económico para un año (10 campañas).
- Anexo 10. Carpa donde se llevó a cabo la Investigación y el área donde se construyó las pirámides del sistema hidropónico recirculante NFT.
- Anexo 11. Obtención de materiales para el armado de las pirámides, canales de cultivo y desagua del sistema hidropónico. Como también Compra de materiales para el sistema automatizado de NFT.
- Anexo 12. Construcción de las pirámides de madera pino para posteriormente pintarlo con látex para evitar las rajaduras. Armado de los canales de cultivo Hechos con tubos de PVC, contados a la mitad transversalmente.
- Anexo 13. Conexión del sistema de tuberías, bomba, desagua y forrado con plastoformo los canales de cultivo.
- Anexo 14. Construcción de la almaciguera con sustrato inerte y mesclado del mismo, para la presente investigación.
- Anexo 15. Elaboración del almacigo de esponja, que es un material corriente con plastoformo.
- Anexo 16. Armado del área de crecimiento, el cual es un sistema recirculante.
- Anexo 17. Siembra en el almacigo de esponja y de sustrato inerte, las tres variedades de lechuga.

- Anexo 18. Germinación de las tres variedades de lechuga en las dos diferentes tipos de almaciguera.
- Anexo 19. Crecimiento de la lechuga en los dos diferentes tipos de almacigo.
- Anexo 20. Trasplante de las lechugas al área de crecimiento.
- Anexo 21. Crecimiento del cultivo de lechuga en el sistema de raíz sumergida.
- Anexo 22. Segundo trasplante definitivo y crecimiento en los canales de cultivo de la pirámide del sistema NFT.
- Anexo 23. Crecimiento a los 70 días después de la siembra.
- Anexo 24. Cosecha de las tres variedades de lechuga hidropónica y posterior embolsado.

RESUMEN

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

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

El objetivo de este trabajo, fue el de evaluar tres variedades de lechuga (Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR), cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT), determinar cuál de ellas presentaría el mayor rendimiento en peso fresco y realizar un análisis económico preliminar de la producción de lechuga con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes.

Para alcanzar el objetivo planteado, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar (DBA), con un arreglo bifactorial y con tres repeticiones. Los factores estudiados fueron tipos de almacigo (almacigo de esponja corriente y almacigo de sustrato inerte) y variedades de semilla de lechuga (Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR). Realizando la interacción de los dos factores se obtuvo 6 tratamientos y se utilizó la solución nutritiva formulada a partir de los requerimientos nutricionales de la lechuga.

Para llegar a los objetivos se planteó siete variables de respuesta las cuales son: Porcentaje de Germinación, Numero de Hojas, Largo de Raíz, Porcentaje de Mortandad, Volumen Radicular, Rendimiento en Peso Fresco y Análisis Económico Parcial.

El experimento se localizó en el centro experimental de Cota Cotade la Facultad de Agronomía de la Universidad de Mayor de San Andrés (La Paz – Bolivia), ocupando un área de 80 m² y un ciclo de cultivo de febrero a abril de 2014.

Los resultados indican que la variedad White Boston presentó un rendimiento de 174,608 g/planta (4,085 kg/m²). Este rendimiento superó a las variedades Grand Rapids TBR y Waldmann's Green, que tuvieron un rendimiento de 158,525 g/planta (4,121 kg/m² en total) y 154,250 g/planta (4,010 kg/m² en total) respectivamente en almácigos de sustrato inerte, estos no fueron afectados por elongación del tallo como las variedades en el almácigo de esponja corriente.

La lechuga hidropónica se cosechó a los 70 días de los cuales estuvo en los almácigos durante 15 días, en los contenedores de crecimiento 20 días y en el sistema de flujo laminar de nutrientes durante 35 días. Mediante este ciclo de producción se puede obtener 10 ciclos productivos por año de lechuga hidropónica.

Para la relación beneficio/costo la variedad White Boston fue la que presentó la mayor ganancia, con una relación beneficio costo de 4,00, en comparación a la variedad Grand Rapids TBR que presentó 3,54, sin embargo la que menor beneficio costo obtuvo fue la variedad Waldmann's Green con 3,42, estas tres en almácigo de sustrato inerte.

SUMMARY

The population growth in urban and rural areas results in a demand of vegetables that meet quality standards. Among the vegetables is the lettuce, which in local markets makes it difficult to obtain the proper standards. This demand can be solved by producing the mentioned culture intensively and in tight spaces using the hydroponic technique known as Recirculating Nutrient Solution Technique (NFT), with which it is possible to obtain high quality end products. The objective of this work was to evaluate three varieties of lettuce (Waldmann's Green, White Boston and Grand Rapids TBR), grown with hydroponic technique laminar flow of nutrients (NFT), determine which presented the highest yield by weight fresh and a preliminary economic analysis of production of lettuce with hydroponic technique laminar flow of nutrients.

An experimental design of randomized blocks (DBA), with a bifactorial arrangement with three repetitions was used to achieve the stated objective. The factors studied were seedbed types (sponge current seedbed nursery and inert substrate) and varieties of lettuce seed (Waldmann's Green, White Boston and Grand Rapids TBR). Realizing the interaction of two factors 6 treatments was obtained and the nutrient solution made from the nutrient requirements of the lettuce was used. Percentage of germination, leaf number, root length, Mortality Rate, root volume, fresh weight and Performance Partial Economic Analysis: To reach the objectives response seven variables which are raised.

The experiment was located in the center of CotaCota Experimental Faculty of Agronomy of the University of San Andrés (La Paz - Bolivia), occupying an area of 80 m² and a growing season from February to April 2014.

The results indicate that the present variety White Boston yield 174.608 g / plant (4,085 kg / m²). This performance exceeded the varieties Grand Rapids TBR and Waldmann's Green, which had a yield of 158.525 g / plant (4,121 kg / m² in total) and 154.250 g / plant (4,010 kg / m² in total) respectively in seedbeds of inert substrate, these were not affected by stem elongation as varieties in the current almacigo sponge.

Hydroponic lettuce was harvested at 70 days of which was in the nursery for 15 days, growth in containers in 20 days and laminar flow system of nutrients for 35 days. Through this production cycle you can get 10 production cycles per year of hydroponic lettuce.

For the benefit / cost variety White Boston was the one with the biggest gain, with a cost benefit ratio of 4.00, compared to the variety presented Grand Rapids TBR 3.54, but which cost less benefit obtained Waldmann's Green was the variety with 3.42, these three seedbed of inert substrate.

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro progresivo de los suelos agrícolas, en general, debido a una sobreexplotación, exceso de fertilización, contaminación por pesticidas y una salinización cada vez más extendidas, está obligando a los agricultores, sobre todo en países desarrollados a optar por el uso de tecnologías adecuadas para dar solución a dichos problemas; además de economizar, los cada vez más escasos, recursos hídricos.

Hoy en día la técnica de producción del cultivo de plantas, sin suelo es el método más intensivo de producción hortícola; generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital. Con esta técnica se obtiene hortalizas de excelente calidad y sanidad, y se asegura un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor diversidad y elevada productividad por planta y en menor tiempo.

La tierra es un sustrato clásico para el cultivo. Ofrece sostén, mantiene humedad y tiene los nutrientes propios del suelo en el que se desarrolla el cultivo. En el suelo sin embargo, el flujo de oxígeno no es bueno, se pueden transmitir enfermedades bacterianas y virales además se presentan nematodos y factores como la erosión y contaminación del suelo como también de aguas subterráneas.

Esos problemas no se presentan en la hidroponía, porque el sustrato que se usa en la hidroponía solo ofrece sostén y la capacidad de mantener la humedad y oxigenación de las raíces de las plantas. No aporta nutrientes y es sencillo lograr que esté libre de contaminación, plagas y enfermedades.

Los nutrientes están en el agua (Hydro) que se usa como solución nutritiva, el cual está compuesto por macronutrientes (solución A) y micronutrientes (solución B), de la hidroponía.

La NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de una lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes. Esta técnica tiene un coste inicial alto por lo

cual es recomendado para ciudades y sub ciudades puesto que se puede instalar en cualquier lugar de las casas, siempre y cuando llegue la luz solar.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el Centro Experimental de Cota Cota - La Paz.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar las características agronómicas de tres variedades de lechuga Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR, cultivadas con la técnica hidropónica recirculante de flujo laminar de nutrientes (NFT).
- ✓ Determinar cuál de las tres variedades tiene mejor rendimiento en peso fresco.
- ✓ Realizar un análisis económico preliminar de la producción de lechuga con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes.

1.2. Hipótesis

H₀ Las características agronómicas de tres variedades de lechuga Waldman's Green, White Boston y Grand Rapids TBR, cultivadas en la técnica hidropónica recirculante (NFT), son las mismas.

H₀ No hay diferencias significativas en el rendimiento de peso fresco de las tres variedades Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR, de lechugas cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT).

H₀ El análisis económico parcial de la producción de lechuga en la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes, son similares para las tres variedades.

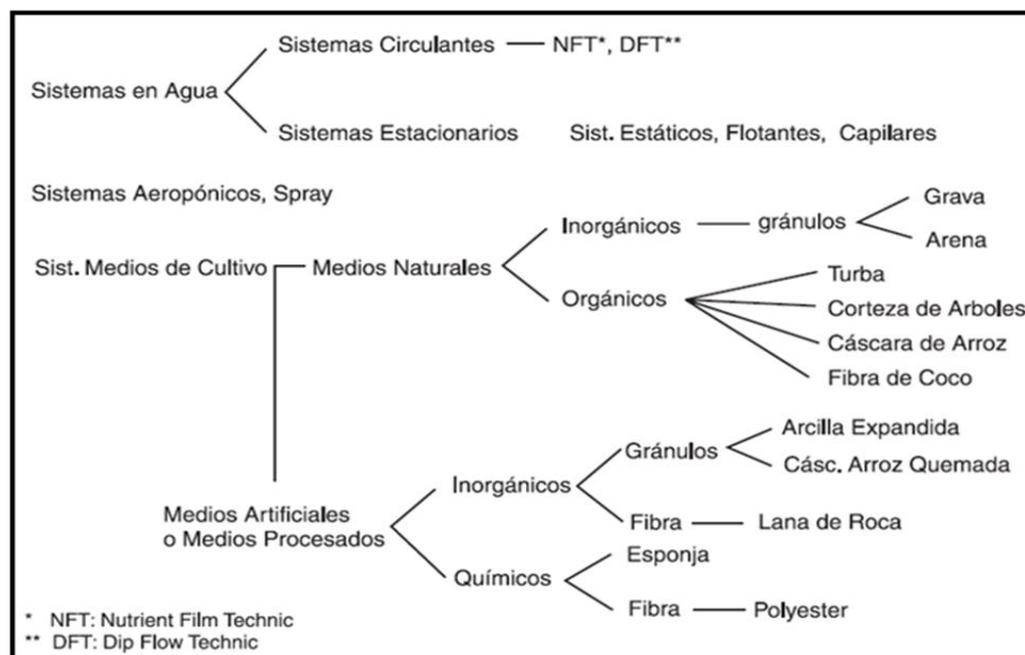
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Hidroponía

El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas “HYDRO” que significa agua y “PONOS” que significa trabajo. Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición (Gilsanz, 2007).

Según Burés (1997), citado por Gilsanz (2007) la hidroponía es la parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de cultivo y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico. En la figura 1, se presenta una lista de materiales que pueden ser empleados como sustratos.

Figura 1. Sistemas y medios para cultivos sin suelo



Fuente: Universidad de OSAKA, Japón, 1998. Citado por Gilsanz, 2007.

Para Huterwal (1956), el cultivo hidropónico, es el método que consiste en proveer a las plantas los alimentos que necesita, para su crecimiento, no por medio de su habitáculo natural, la tierra, sino por medio de una solución sintética de agua y de sales minerales diversas.

2.2. Historia de la hidroponía

El trabajo sobre los constituyentes de las plantas comenzó, hacia el año 1600; no obstante, las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho tiempo antes. Los jardines colgantes de Babilonia, los jardines florecientes de los aztecas, en México, y los de la China imperial son ejemplos de cultivos “hidropónicos”, existiendo también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua (Resh, 1997).

Los primeros investigadores realizaban ensayos en laboratorio inapropiados para obtener rendimientos amplios. Corresponde al D. Wm. F. Gericke, profesor asociado de fisiología vegetal en la Universidad de California, el mérito de haber comenzado en 1938 a realizar cultivos sin tierra “en grande”. Este profesor fue quien invento la palabra hidroponía (Huterwal, 1991)

Para Penningsfeld y Kurzman (1983), con la ayuda de esta técnica no solo se mejora la cosecha en cantidad, peso o calidad, sino que de forma importante se ha comprobado que se aumenta también la productividad en el trabajo, con la consiguiente reducción de la mano de obra. También son mucho menores las exigencias a los horticultores, una vez que el sistema ha sido llevado a cabo, puesto que muchas de las manipulaciones pueden automatizarse.

2.3. Ventajas y desventajas de la hidroponía

2.3.1. Ventajas

Para Rodríguez, (2002), las ventajas del cultivo hidropónico son las siguientes:

- **Menor número de horas de trabajo y más livianas:** En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no solo pueden automatizarse sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas. Además en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos.

- **No es necesaria la rotación de cultivos:** En estos sistemas no es necesaria la rotación de cultivos en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la no existencia de suelo.
- **No existe la competencia por nutrientes:** Ya sea por las plantas voluntarias o por microorganismos de suelo.
- **Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento:** Tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular requiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo.
- **Mínima pérdida de agua:** A través de estos sistemas se realiza un uso eficiente del agua, ya que esta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada. Además en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación.
- **Mínimo problema con las malezas:** El problema con malezas se considera mínimo en estos sistemas, ya sea que los medios son estériles o son esterilizados, además que el problema de formación de algas en el sistema puede ser minimizado. De hecho al no existir suelo, el problema de las malezas tiende a desaparecer.
- **El sistema se ajusta en áreas de producción no tradicionales:** La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. En general es posible desarrollar producciones comerciales exitosas en áreas tan pequeñas como el fondo de una casa. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales.

Los cultivos hidropónicos que se desarrollan mediante la técnica NFT “técnica de película nutritiva”, permiten incrementar la producción y acortar los ciclos hasta un 60%; por esta razón es de vital importancia conocer qué variedades se adapten mejor a este modelo hidropónico (Ramos, 2010).

Una de las ventajas que ofrece el sistema "NFT" es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, de agua y oxígeno. En contraste a los sistemas hidropónicos populares de sustrato sólido o a "raíz flotante", el "NFT" maximiza el contacto directo de las raíces con solución nutritiva que es constantemente renovada y por ende el crecimiento es acelerado siendo posible obtener en el año más ciclos de cultivo. Con la ausencia de sustrato se evitan las labores de desinfección de éste, así como se favorece el establecimiento de una alta densidad de plantación (CIHNM-UNALM, 1996).

2.3.2. Desventajas

Según Gilsanz, (2007), las desventajas de los cultivos hidropónicos son:

- **Costo inicial alto:** Estos sistemas presentan un costo inicial alto debido a las inversiones a realizar, de todos modos esto variará dependiendo del sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente de crecimiento. Si vamos a sistemas donde se controla la temperatura, humedad y luz del lugar de crecimiento del cultivo, tendremos mayores grados de inversión en equipos de medición y control. Por otro lado sistemas que requieran un aporte energético, como los sistemas circulantes, diferirán en los costos de aquellos sistemas flotantes o estáticos.
- **Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición:** Este tipo de producciones demandan una mayor especialización del productor, exigiéndole un grado mayor de conocimientos respecto al funcionamiento del cultivo y de la nutrición de éste. Repentinos cambios de temperatura o de ventilación tendrán respuesta directa en el cultivo, sobre todo en ambientes protegidos. El íntimo contacto del productor con el cultivo permitirá prevenir tales cambios ambientales y la regulación de las necesidades nutricionales de acuerdo a las exigencias de éste.
- **Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo:** Al no existir suelo se pierde la capacidad buffer de éste frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales. El productor deberá estar muy atento al equilibrio de la fórmula nutricional y a sus cambios durante el ciclo.

- **Se requiere agua de buena calidad:** Así como en los sistemas tradicionales de producción se necesita un suelo de adecuadas condiciones para la producción, en los sistemas hidropónicos se requiere agua de buena calidad, sobre todo libre de contaminantes y de excesivas sales, con un pH cercano a la neutralidad. Aguas comúnmente duras cargadas de excesos de sales significan el desarrollo de formulaciones especiales, cuando no son limitantes del proceso productivo. En el cuadro 1, se presenta un análisis comparativo de sistemas de cultivo tradicional y los hidropónicos o sin suelo.

Cuadro 1. Comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos.

| | Sobre Suelo | Sin Suelo |
|---|---|--|
| Nutrición de la planta | Muy variable difícil de controlar | Controlada, estable, fácil de observar y corregir |
| Espaciamiento | Limitado a la fertilidad | Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz |
| Control de Malezas | Presencia de malezas | Prácticamente inexistentes |
| Enfermedades y Patógenos del suelo y Nematodos | Enfermedades del suelo | No existe estrés hídrico, pérdida casi nula |
| Agua | Plantas sufren de estrés ineficiente uso del agua | |

Fuente: Universidad de Osaka, Japón, JICA (1998), Citado por Gilsanz, (2007).

Para Carrasco e Izquierdo (1996) el sistema "NFT", desarrollado y utilizado por muchos países del hemisferio norte, ha requerido invertir en insumos de alto costo lo que limitó su aplicación en América Latina y el Caribe. Sin embargo, actualmente, es posible lograr implementar este sistema con materiales y equipos de menor precio, ya sea, a través de la utilización de madera, diferentes tipos de plástico (PVC, polietileno, poliuretano, poliestireno), caños y bombas de agua de costo reducido.

2.4. La hidroponía en Bolivia

En 2005, Intervida Bolivia, en convenio con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), implemento el proyecto “Microhuertas familiares para la seguridad alimentaria”, el proyecto consistía en cultivar hortalizas en huertos orgánicos e hidropónicos, en la ciudad de El Alto (Estrada, 2009).

Estudios realizados en Cochabamba – Bolivia por Urey (2007), donde se realizó la producción de lechuga en el sistema hidropónico de flujo laminar de nutrientes, determinaron que económicamente la variedad Crespa muestra una relación Costo/Beneficio de 22,99% y una utilidad neta de 294 Bs/50 m², seguido por la variedad Romana con una relación C/B de 24,91% y una utilidad neta de 244,92 Bs/50 m²; y por último la variedad Blanca con una relación C/B de 33,96% y una utilidad neta de 84,92 Bs/50 m², por las condiciones de poder producir de 9 – 10 veces año, y ser un producto de alta calidad sanitaria.

Para Murillo (2010), se puede mejorar la capacidad productiva de los invernaderos al transformarlos en cultivos hidropónicos bajo sistema NFT, pues se demostró que bajo este sistema hidropónico recirculante se puede producir durante todo el año de forma sistemática, en la localidad de Chicani de la ciudad de La Paz – Bolivia.

2.5. Nutrición de las Plantas

La nutrición para las plantas en la Hidroponía es suministrada en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparados por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación (Huterwal, 1991),

2.5.1. Nutrición Mineral

Según Resh (1997), las plantas como los animales y seres humanos requieren alimento para su desarrollo y crecimiento, estos alimentos están compuestos por

ciertos elementos químicos a menudo requeridos como elementos alimenticios o nutricionales de la planta.

Para Penningsfeld y Kursman (1993), los fertilizantes son por lo general más económicos que las clasificadas para laboratorio, por lo que es conveniente utilizarlas cubriendo las necesidades de los seis elementos mayores. Estos elementos no tan refinados contienen como impurezas muchos de los otros nutrientes menores como Magnesio, Boro, Zinc y Cobre, o que hará necesario la adición de cantidades suplementarias de los mismos.

Los fertilizantes son nutrientes que están disponibles en forma directa para las plantas por lo cual la planta absorbe con mayor facilidad y tiene un mejor desarrollo.

2.5.2. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Según Huterwal (1991), los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrimentos 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 cultivador. De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad) los 13 nutrientes extraídos normalmente del suelo son clasificados en tres grupos:

Cuadro 2. Funciones de los elementos nutritivos

| Elemento | Absorbido en forma | Funciones |
|-----------------|-----------------------------------|--|
| Nitrógeno | NO ₃ y NH ₄ | Da el color verde intenso a las plantas. Fomenta el rápido crecimiento. Aumenta la producción de hojas. Mejora la calidad de las hortalizas. Aumenta el contenido de proteínas en los cultivos de alimentos y forrajes. |
| Fosforo | P ₃ O ₅ | Estimula la rápida formación y crecimiento de las raíces. Facilita el rápido y vigoroso a las plantas. Acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos. Ayuda a la formación de semillas. Da vigor a los cultivos para defenderse del rigor del invierno. |
| Potasio | K ₂ O | Otorga a las plantas gran vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas. Ayuda a la producción de proteína de las plantas. Aumenta el tamaño de las semillas. Mejora la calidad de los frutos. Ayuda al desarrollo de los tubérculos. Favorece la formación del color rojo en hojas y frutos. |
| Calcio | Ca O | Activa la temprana formación y el crecimiento de las raicillas. Mejora el vigor general de las plantas. Neutraliza las sustancias toxicas que producen las plantas. Estimula la producción de semillas. Aumenta el contenido de Calcio en el alimento humano y animal. |
| Magnesio | Mg O | Es componente esencial de la clorofila. Es necesario para la formación de los azúcares. Ayuda a regular la asimilación de otros nutrientes. Actúa como transportador del fosforo dentro de las plantas. Promueve la formación de grasas y aceites. |
| Cobre | Cu | El 70% se concentra en la clorofila y su función más importante se aprecia en la asimilación. |
| Boro | B | Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de las frutas, verduras y forrajes, está relacionado con la asimilación del calcio y con la transferencia del azúcar dentro de las plantas. Es importante para la buena calidad de las semillas de las especies leguminosas. |
| Hierro | Fe | No forma parte de la clorofila, pero está ligado con su biosíntesis. |
| Magnesio | Mg | Acelera la germinación y la maduración. Aumenta el aprovechamiento del calcio, magnesio y el fosforo. Cataliza en la síntesis de la clorofila y ejerce funciones en la fotosíntesis. |
| Zinc | Zn | Es necesario para la formación normal de clorofila y para el crecimiento. Es un importante activador de las enzimas que tienen que ver con la síntesis de proteínas, por lo cual las plantas deficientes en zinc son pobres en ellas. |
| Molibdeno | Mo | Es esencial en la fijación del nitrógeno que hacen las legumbres. |

Fuente: Huterwal (1991).

2.5.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad de los elementos esenciales

Pueden ocurrir síntomas de deficiencia o toxicidad nutricional, si no hay prácticas de manejo adecuadas de la solución de nutrientes, que incluyen, probar la solución de nutrientes regularmente y realizar análisis de tejido foliar de las plantas paulatinamente (Almodovar, 1998).

Cuadro 3. Deficiencias y toxicidad de elementos esenciales.

| Elemento | Deficiencia | Toxicidad |
|------------------|--|---|
| Nitrógeno | Aspecto enfermizo de la planta. Color verde amarillento debido a la pérdida de clorofila. Desarrollo lento y escaso. Amarillamiento inicial y secado posterior de las hojas de la base de la planta que continua hacia arriba, si la deficiencia es muy severa y no se corrige; las hojas más jóvenes permanecen verdes. | La floración y la producción de frutos y semillas se retardan. Cuando se le suministra en cantidades desbalanceadas en relación con los demás elementos, la planta produce mucho follaje de color verde oscuro, pero el desarrollo de las raíces es reducido. |
| Fosforo | Desarrollo y madures lentos y aspecto raquítrico en los tallos. Mala germinación de las semillas. Bajo rendimiento de frutos y semillas. Aparición de hojas, ramas y tallos de color purpureo; este síntoma se nota primero en las hojas más viejas. | Los excesos de fosforo no son notorios a primera vista, pero pueden ocasionar deficiencia de cobre o de zinc. |
| Potasio | Las hojas de la parte más baja de la planta se queman en los bordes y puntas; generalmente la vena central conserva el color verde; también tienden a enrollarse. Debido al pobre desarrollo de las raíces, las plantas se degeneran antes de llegar a la etapa de producción. En las leguminosas da lugar a semillas arrugadas y desfiguradas que no germinan o que originan plantas débiles. | No es común la absorción de exceso de potasio, pero altos niveles de el en las soluciones nutritivas pueden ocasionar deficiencia de magnesio y también de manganeso, zinc y hierro. |
| Calcio | Las hojas jóvenes de los brotes terminales se doblan al aparecer y se queman en sus puntas y bordes. Las hojas jóvenes permanecen enrolladas y tienden a arrugarse. En las áreas terminales pueden aparecer brotes nuevos de color blanquecino. Puede producirse la muerte de los extremos de las raíces. En los tomates y sandias la deficiencia de Calcio ocasiona el hundimiento y posterior pudrición seca de los frutos en el extremo opuesto al pedúnculo. | No se conocen síntomas de excesos, pero estos pueden alterar la acidez del medio de desarrollo de la raíz y esto si la disponibilidad de otros elementos para la planta. |
| Magnesio | Perdida del color verde, que comienza en las hojas de abajo y continua hacia arriba, pero las venas conservan el color verde. Las hojas se tuercen hacia arriba a lo largo de los bordes. Los tallos se forman débiles, y las raíces se ramifican y alargan excesivamente. | No existen síntomas visibles para identificar la toxicidad por Magnesio. |
| Cobre | Las hojas más jóvenes toman color verde oscuro y se enrollan. Escasa formación de la lámina de la hoja, disminución de su tamaño y enrollamiento hacia la parte interna, lo cual limita la fotosíntesis. | Clorosis férrica, enanismo, reducción en la formación de ramas, engrosamiento y escurrimiento anormal de la zona de las raíces. |

| | | |
|------------------|--|--|
| Boro | Anula el crecimiento de tejidos nuevos y puede causar hinchazón y también una descoloración de los vértices radiculares y muerte de la zona apical (terminal) de las raíces. Ocasiona tallos cortos en el apio, podredumbre de color pardo en la cabeza y a lo largo de lo interior del tallo de la coliflor, podredumbre en el corazón del nabo, ennegrecimiento y desintegración del centro de la remolacha de mesa. | Se produce un amarillamiento del vértice de las hojas, seguido de la muerte progresiva, que va avanzando desde la parte basal de estas hasta los márgenes y vértices. No se deben exceder las cantidades de este elemento dentro de las soluciones nutritivas ni dentro de los sustratos, porque en dosis superiores a las recomendadas es muy tóxico. |
| Hierro | Causa un color pálido amarillento del follaje, aunque haya cantidades apropiadas de nitrógeno en la solución nutritiva. Ocasiona una banda de color claro en los bordes de las hojas y la formación de raíces cortas y muy ramificadas. La deficiencia de hierro se parece mucho a la del magnesio, pero la del hierro aparece en las hojas más jóvenes. | No se han establecido síntomas visuales de toxicidad de hierro absorbido por la raíz. |
| Magnesio | En tomates y remolachas causa la aparición de color verde pálido, amarillo y rojo entre las venas. El síntoma de clorosis se presenta igualmente entre las venas de las hojas viejas o jóvenes, dependiendo de la especie; estas hojas posteriormente mueren y se caen. | Existe poca información disponible sobre los síntomas visuales. |
| Zinc | Su deficiencia en tomate ocasiona un engrosamiento basal de los peciolo de las hojas, pero disminuye su longitud; la lámina foliar toma una coloración pálida y una consistencia gruesa, apergamada, con entorchamiento hacia afuera y con ondulaciones de los bordes. El tamaño de los entrenudos y el de las hojas se reduce, especialmente en su anchura. | Los excesos de zinc producen clorosis férrica en las plantas. |
| Molibdeno | No se forma la lámina de las hojas, solo aparece la nervadura central. Afecta negativamente el desarrollo de las especies crucíferas. Los síntomas se parecen a los del nitrógeno, porque la clorosis (amarillamiento) avanza desde las hojas más viejas hacia las más jóvenes, las que se ahuecan y se queman en los bordes. | En tomate los excesos se manifiestan con la aparición de un color amarillo brillante; en la coliflor, con la aparición de un color púrpura brillante en sus primeros estados de desarrollo. |
| Cloro | Se produce marchitamiento inicial de las hojas, que luego se vuelven cloróticas, originando un color bronceado; después se mueren. El desarrollo de las raíces es pobre y se produce un engrosamiento anormal cerca de sus extremos. | Los excesos producen el quemado de los bordes y extremos de las hojas; su tamaño se reduce y hay, en general, poco desarrollo. |

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang (2002).

2.6. Solución nutritiva

Sánchez y Escalante (1988), define solución nutritiva como, el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Se ha probado que para el crecimiento y desarrollo de las plantas son necesarios los elementos

como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel.

Con el método Hidropónico la planta debe encontrar las mismas condiciones ambientales que le ofrece la naturaleza, y si es posible, facilitárselas superándolas como, de hecho, así ocurre, con lo cual las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal quedaran facilitadas, la solución nutritiva es el fundamento de la Hidroponía (Huterwal, 1991).

Barry, (1997), indica que la cantidad de cualquier mineral presente en una solución nutritiva es medida en partes por millón (ppm). Es exactamente lo mismo que medir en mg/litro o g/1000 litros.

Deberán estar calculadas (formuladas) en función a las necesidades del cultivo al que van dirigidas, su estado de desarrollo y la calidad del agua. El invernadero debe ser capaz de calcularlas, ya que es él quien diariamente observa el rumbo del cultivo y percibe los momentos en que las plantas necesitan unos nutrientes u otros (Sanz; Uribarri; Sadaba; Aguado; Del Castillo, 2003).

2.6.1. Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular ya que la concentración optima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000).

En el cuadro 5, se puede observar recomendaciones de autores que realizaron ensayos con diferentes concentraciones, para al final poder recomendar la más adecuada para la producción de lechuga en hidroponía en el sistema recirculante "NFT" (Urey, 2007).

Cuadro 4. Soluciones nutritivas y sus concentraciones en ppm para la lechuga.

| Autores | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | Bo | Zn | Cu | Mo |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Furiani,(1998) | 198 | 39 | 183 | 142 | 38 | 52 | 2.0 | 0.4 | 0.3 | 0.06 | 0.02 | 0.06 |
| La Molina,(2001) | 154 | 36 | 260 | 150 | 45 | 70 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.15 | 0.15 | 0.01 |
| Morgan, (1999) | 141 | 25 | 96 | | 151 | 25 | 33 | 2.5 | 1.0 | 0.45 | 0.06 | 0.05 |
| Resh,(2001) | 190 | 50 | 210 | 200 | 40 | 113 | 5.0 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.05 |

Fuente: Rodríguez, Hoyos, y Chang, (2002).

2.6.2. pH de la solución nutritiva

El pH de una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición. Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso, la corrección del pH puede evitar los estados carenciales por lo cual es necesario hacer una lectura diaria (Baixauli; Aguilar, 2002).

2.6.2.1. Efecto de pH en cultivos hidropónicos

Según Guzmán (2004), el rango conveniente de pH que permite a las plantas una absorción adecuada de los elementos nutritivos sin riesgo de carencias de ninguno de ellos es de 6,5.

En el siguiente cuadro se relaciona el porcentaje de absorción con respecto al valor del pH en plantas de hoja.

Cuadro 5. Porcentaje de absorción de los elementos nutritivos respecto a la acidez del medio (pH).

| pH | N | P | K | S | Ca | Mg | Fe | Mn | B | Cu | Zn | Mo |
|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 6,0 | 100 | 40 | 100 | 100 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 60 |
| 6,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 |

Fuente: Centro Regional de Ayuda Técnica AID citado por Guzmán (2004).

Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrimentos y por lo tanto en el rendimiento de las plantas es el pH. (Gallegos, 2012).

2.6.2.2. pH por cultivo

Conocer el pH que rodea a las raíces es de extrema importancia para el adecuado crecimiento de las plantas. La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5,0 a 6,5 (Bautista, 2000).

Cuadro 6. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo.

| pH recomendado | Cultivos | Escala de acidez y alcalinidad |
|-----------------------|--|---------------------------------------|
| 4,5 a 5,5 | Batata dulce Camelia Chaifen Gardenias Lirio del valle Rosas Verónica Orquídeas | Moderadamente acida |
| 5,5 a 6,0 | Clavel Dalias Nabo Tomates Menta Lechuga | Ligeramente acida |
| 6,7 a 7,0 | Apio Coliflor Esparrago Cebolla Repollo Zanahoria Espinaca Habas Rábanos | Neutra |
| 7,0 a 7,5 | Alfalfa Avena Cebada Pepino Patatas Vid | Ligeramente acida |

Fuente: Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral (2010).

2.6.3. Conductividad Eléctrica de la solución nutritiva

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en mS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/L. La CE expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica (Baixauli; Aguilar, 2002).

2.6.3.1. Efecto de la CE en cultivos hidropónicos

En los sistemas hidropónicos el manejo de la solución nutritiva es crucial para la obtención tanto de altos rendimientos como de calidad, pues es la vía a través de la cual se proporcionan los nutrimentos necesarios para el desarrollo de la planta (Carrasco *et al.*, 2007). En estas soluciones la conductividad eléctrica (CE) tiene una estrecha relación con la concentración total de sales de la solución nutritiva (Lara, 1999), es un estimador indirecto del potencial osmótico, y determina el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Bugarín *et al.*, 1998).

2.6.3.2. Conductividad eléctrica por cultivo

Luego del agregado de sales, al formular la solución, la conductividad dependerá del cultivo y el estado de crecimiento, por ejemplo la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2-2.5), el tomate tolera valores más altos. Al tener valores más altos de sales disueltas en la solución, la absorción de nutrientes por la planta se ve limitada, repercutiendo en el normal desarrollo del cultivo (Gilsanz, 2007).

En cuadro 5. se detalla la conductividad eléctrica para cada cultivo, estos datos deben considerarse al momento de preparar la solución nutritiva. También este cuadro indica la tolerancia a la salinidad por parte de cada cultivo.

Cuadro 7. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo.

| Cultivo | Conductividad eléctrica (mmhos/cm) | Tolerancia a la salinidad |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Betarraga | 2,7 | Tolerante |
| Brocoli | 1,9 | Moderadamente sensible |
| Tomate | 1,7 | Moderadamente sensible |
| Lechuga | 0,9 | Moderadamente sensible |
| Cebolla | 0,8 | Sensible |
| Zanahoria | 0,7 | Sensible |
| Poroto | 0,7 | Sensible |
| Apio | 1,2 | Moderadamente sensible |
| Espinaca | 1,3 | Moderadamente sensible |
| Zapalillo italiano | 3,1 | Tolerante |
| Maiz | 1,1 | Moderadamente sensible |
| Arroz | 2,0 | Moderadamente sensible |
| Trigo | 4,0 | Tolerante |
| Cebada | 5,3 | Tolerante |

Fuente: Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral (2010).

2.6.4. Vida útil de la solución nutritiva

La vida útil de la solución nutritiva dependerá de las correcciones oportunas que se hagan durante las lecturas de pH, CE y el nivel de agua (Urey, 2007).

Cuadro 8. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.

| Compuesto | Peso Molecular | Cantidad por litro | Concentración |
|---|----------------|--------------------|---------------|
| Hidróxido de potasio (KOH) | 56,09 | 56,09 g | 1 N |
| Ácido clorhídrico 37%(HCL) | 36,47 | 82,83 ml | 1 N |
| Acido fosforito 85% (H ₃ PO ₄) | 98,00 | 22,70 ml | 1 N |
| Ácido nítrico 65% (HNO ₃) | 63,00 | 69,23 ml | 1 N |
| Ácido sulfúrico 85% (H ₂ SO ₄) | 98,00 | 31,36 ml | 1 N |

Fuente: Rodríguez, Hoyos, y Chang, (2002)

En caso que la conductividad eléctrica se eleve, superando los niveles mencionados en el cuadro 7, se tendrá que regular con agua potable desclorada.

2.7. Sistemas de cultivos hidropónicos

2.7.1. Sistema de cultivo en medio líquido

Según Marulanda (2003), el medio de cultivo más económico y fácil de conseguir es el agua que se usa con el mismo fin que el sustrato sólido; permitir el desarrollo de las raíces y la absorción de agua y de las sustancias nutritivas adicionadas, pero en un ambiente totalmente líquido

2.7.1.1. Técnica de raíz flotante

Esta técnica no requiere de sustrato sólido, las raíces de las plantas permanecen en contacto con el agua que debe ser oxigenada diariamente. La oxigenación puede ser aplicada manualmente o a través de bombas de aire (Calagrosso, 2014).

2.7.1.2. Técnica NFT y NFT modificado

La NFT es una técnica de cultivo en agua a raíz desnuda, en canaletas, en cuyo fondo, fluye constantemente una película muy fina de solución nutritiva de 1 a 4 mm de altura, la pendiente de las canaletas es de 1 a 3% y la longitud de los canales no debe exceder los 18 m (Tapia, 2009).

El sistema más conocido es el NFT que corresponde a las siglas de nutrient film technique, que fue desarrollado a finales de 1960 por el Dr. Allan Cooper. Está basado en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en recirculación, pasando a través de las raíces de la planta aportando agua, nutrientes y oxígeno (Baixauli; Aguilar, 2002).

El término *Nutrient Film Technique* fue utilizado para remarcar que la profundidad del flujo de líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre puedan disponer de oxígeno necesario. Otros trabajos (Schippers, 1977), llamaron a esta, “técnica de flujo de nutrientes”, puesto que la solución de nutrientes circula continuamente (Resh, 1997).

2.7.1.3. Técnica de aeroponía

Fue desarrollada por el Dr. Franco Massantini en la Universidad Italiana de Pía. Originalmente utilizó cilindros de PVC colocados en posición vertical como columnas de cultivo; perforó huecos en las paredes del cilindro en donde introdujo las raíces de las plantas. Dentro del cilindro, una tubería con aspersores, pulveriza la solución nutritiva que baña las raíces, las cuales se mantienen en plena obscuridad y reciben la mayor cantidad de aire que cualquier sistema puede ofrecer; esa es una de las grandes ventajas de esta técnica (Guzmán, 2004).

2.7.1.4. Técnica de acuaponía

Para Calo (2011), la acuaponía constituye una integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico.

Las excretas de los peces son ricas en nutrientes para las plantas pero tóxicas para los peces mismos, las plantas actúan como un filtro al absorber estas sustancias previamente tratadas por algunas bacterias benéficas. El papel de las bacterias es convertir las excretas de los peces en compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces (Calagrosso, 2014).

2.7.2. Sistema de cultivo en medio inerte

En este sistema se utiliza un medio sólido (sustrato) para el soporte de las raíces de las plantas (Alpizar, 2004).

En el lenguaje hidropónico, los sustratos son materiales sobre los que se desarrollan las raíces de las plantas (Marulanda, 2003).

2.7.2.1. Sustratos de origen orgánico

Lista de materiales que pueden ser utilizados como Sustratos (Burés 1997 citado por Gilsanz, 2007):

- Derivados de la Explotación Forestal: Limpieza de Bosques (Mantillo vegetal, hojas, acículas), Industria de la Madera (Corteza, aserrín o virutas de la madera).

- Explotación Agrícola: Cereales (Restos de cosecha, paja), Caña de azúcar (Restos de la caña de Azúcar “bagazo”) y Coco (Fibra de Coco).
- Explotación Animal: Piel y Lana.
- Industria Agroalimentaria: Molinos de Arroz (Cáscara de arroz).
- Yacimientos Naturales: Turbas.

2.7.2.2. Sustratos de origen inorgánico

Lista de materiales que pueden ser utilizados como Sustratos (Burés 1997 citado por Gilsanz, 2007):

- Explotaciones Mineras: Lana de Roca (fibra de vidrio, perlita, vermiculita etc.).
- Policarbonatos de Síntesis: (Poliestireno expandido, Poliuretanos).
- Actividades Industriales Diversas: Industria Textil (Algodón, Lino, Fibras acrílicas), Altos Hornos (Escorias del carbón).

2.7.2.3. Mezclas de Sustratos

Para Marulanda (2003), los sustratos inertes pueden ser utilizados solos, pero es recomendable utilizar mezclas de algunos de ellos en diferentes proporciones. Las mezclas más recomendadas de acuerdo a los ensayos realizados en América Latina con más de 20 especies de hortalizas son:

- 50% de cascara de arroz con 50% de piedra pómez (espuma de lava volcánica).
- 50% de cascara de arroz, 30% de lava volcánica y 20% de aserrín.
- 60% de cascara de arroz con 40% de arena de río.
- 60% de cascara de arroz con 40% de lava volcánica.
- 40% de turba, 40% de arena fina de río y 20% de aserrín de madera (blanca o amarilla. No se deben utilizar los aserrines de maderas rojas ni los pinos).

2.8. Plagas de los cultivos hidropónicos

La literatura indica que la hidroponía puede producir unas presiones selectivas extremas de nuevos patógenos, adaptados a esta condición y no encontrados en sistemas de cultivos tradicionales. Algunos patógenos considerados secundarios en el campo, pueden adquirir niveles epidémicos en hidroponía, como *Pythium*

dissotocum en lechuga, en los Estados Unidos y Italia, Cercospora sp. Lechuga en el Brasil. (Rodríguez, Hoyos, y Chang 2002).

2.8.1. Plagas insectiles en cultivos hidropónicos

Las plagas insectiles que más se presentan o son más frecuentes en los Cultivos Sin Tierra son: La mosca blanca, Los gusanos o larvas, Los pulgones, Los minadores, Las babosas (Marulanda, 2003).

Dentro de las plagas del follaje cuyas larvas atacan las hojas de las plantas más jóvenes se encuentran: los Áfidos, pulgón verde (*Myzus persicae Sulzer*) y *Pemphige betae*; la *Diaphania spp.* y la chicharrita o cigarrita (*Empoasca spp.*) Los insecticidas que se deben usar son los de corta residualidad y baja toxicidad Las larvas del Minador de la hoja (*Liriomyza sativae*), hacen galerías en forma espiral en las hojas comúnmente llamadas minas, el ataque severo provoca que las hojas se sequen y se caigan (Casaca, 2005).

2.8.2. Enfermedades en cultivos hidropónicos

Una enfermedad común en hidroponía es la pudrición de raíces provocados por los hongos *Pythium spp.*, *Fusarium spp.*, estas provocan la muerte de las plantas en los semilleros o en pleno crecimiento. Se debe al exceso de humedad en el medio de crecimiento, aireación pobre y alta densidad de plántulas. Este hongo sobrevive en el polvo y partículas de suelo en el piso. Se disemina a través de las manos, herramientas e insectos como la mosquita de los hongos. La recirculación de la solución de nutrientes hace fácil su diseminación a todo el cultivo (Almodovar, 1998).

Otra enfermedad frecuente es el añublo polvoriento, provocado por los hongos *Erysiphe cichoracearum* y *Sphaeroteca fuliginea*, provocan un crecimiento blanco polvoriento en las hojas y tallos de las plantas infectadas. Es favorecido por alta densidad de siembra y baja intensidad de luz. Una alta humedad relativa (> de 95%) favorece la infección por este hongo y condiciones secas favorecen la colonización del tejido por el hongo y su diseminación (Supulveda, 2004).

2.9. Hortalizas utilizadas más frecuentes en hidroponía

Son muchas las especies que se pueden cultivar bajo esta técnica; sin embargo, el productor debe considerar algunos factores como: plantas que mejor se adapten a las condiciones ambientales donde vive; cultivos anuales o de ciclo corto y que sean las más utilizadas en el hogar (Guzmán, 2004). En el anexo 1, se incluyen datos sobre las etapas de cultivo de algunas especies, con la técnica hidropónica.

2.10. El cultivo de la lechuga

La lechuga es una hortaliza que se consume en fresco, principalmente como ingrediente en la preparación de comida rápida. Su contenido de agua es alto, además posee un bajo valor energético, por lo que puede utilizarse en las dietas hipocalóricas o para disminuir de peso (Casaca, 2005).

2.10.1. Taxonomía

Según Lizarro (2009), la lechuga presenta la siguiente clasificación:

| | |
|--------------------------|----------------------------|
| Familia | : Asteraceae. |
| Sub-familia | : Lactucoideae. |
| Tribu | : Lactuceae. |
| Nombre científico | : <i>Lactuca sativa</i> L. |
| Nombre común | : Lechuga. |

2.10.2. Morfología

Para Gilsanz (2007), la lechuga tiene las siguientes características: Es una planta anual. La Raíz no llega a sobrepasar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo el desarrollo (variedades romanas), y en otros se acogollan más tarde. Cuando la lechuga está madura, es cuando emite el tallo floral. Las flores son autogamas. Las semillas en algunas variedades tienen un periodo de latencia después de su recolección, que es inducido por temperaturas altas. Muchas variedades germinan mal en los primeros dos meses después de su recolección.

2.10.3. Requerimientos agroecológicos y manejo del cultivo de lechuga

Para Porco y Terrazas (2009), los requerimientos agroecológicos y manejo que se realiza en el cultivo de lechuga son los siguientes:

Cuadro 9. Requerimientos agroecológicos y manejo de la lechuga.

| | |
|-----------------------------|--|
| Suelos | Requiere suelos preferentemente franco limosos con materia orgánica, no desarrolla bien en suelos arenosos y arcillosos. |
| Época de siembra | En los valles y altiplano e primavera, en carpas solares todo el año, en zonas bajas y bajo riego todo el año. |
| Modo de siembra | Almacigo se entierra la semilla a una profundidad aproximada de 0,5 cm. |
| Distancias de siembra | Entre plantas 30 cm y entre surcos 35 cm. En cultivos a campo abierto. Entre plantas 25 cm y entre columna a 25 cm en cultivo bajo carpa solar. |
| Numero de semillas/gramo | 700 a 1.000 |
| Días a la germinación | Desde los 5 a 8 días. |
| Cuidados culturales | Trasplantar cuando las plantitas tengan 4 a 5 hojas, riego, aporque, incorporación de abonos, deshierbes y control fitosanitario. |
| Temperatura optima | Desde los 14 a 18 °C. |
| Humedad relativa | De 60 a 80%. |
| Ciclo vegetativo | Anual. |
| Cosecha o recolección | Se realiza manualmente con cortes en el cuello de la planta. |
| Inicio de cosecha | A los 60 a 100 días dependiendo de la variedad. |
| Rendimiento | 4 a 20 lechugas/m ² dependiendo de la variedad. |
| Variedades en nuestro medio | Grand rapids TBD, Waldmann's green, Salinas, Salinas MT, Aurelia, White Boston, Legacy, Cisco, Romana Balao y Lusa. |
| Plagas | Pulgón (<i>Mysus spp.</i>). Mosca minadora (<i>Liriomyza spp.</i>). Mosca blanca (<i>Trialeurodes spp.</i>). |
| Enfermedades | Mildiu (<i>Bremia lactucae</i>). Oidio (<i>Erysiphe cichoreacearum</i>) Mancha foliar (<i>Botrytis cinérea</i>). |

Fuente: Porco y Terrazas (2009).

2.10.4. Composición y Valor Alimenticio de la lechuga

La lechuga presenta la siguiente composición nutricional:

Cuadro 10. Contenido nutricional promedio en 100 g de hojas de lechuga.

| Compuesto | Contenido |
|---------------------------------|-----------|
| Agua | 94 g |
| Proteínas | 1,6 g |
| Grasas | 0,2 g |
| Hidratos de carbono | 2,1 g |
| Vitamina V1 (tiamina) | 0,1 mg |
| Vitamina V2 (riboflavina) | 0,1 mg |
| Vitamina V5 (ácido pantoténico) | 0,5 mg |
| Vitamina A (retinol) | 2600 UI |
| Vitamina C (ácido ascórbico) | 0,024 g |
| Cenizas | 0,59 g |

Fuente: Hidrohortalizas.com.ar. (USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2008), mencionado por Murillo (2010).

Cuadro 11. Contenido de minerales en cada 100 g de hojas de lechuga.

| Minerales | Contenido (mg) |
|-----------|----------------|
| Fosforo | 23,0 |
| Potasio | 257,0 |
| Calcio | 32,0 |
| Magnesio | 13,0 |
| Zinc | 0,17 |
| Cobre | 0,023 |
| Manganeso | 0,133 |
| Sodio | 5,0 |
| Hierro | 0,33 |

Fuente: Hidrohortalizas.com.ar. (USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2008), mencionado por Murillo (2010).

La lechuga absorbe el 70% de los nutrientes durante el último 30 % de su ciclo, por tal motivo se requieren altos niveles de fertilidad del suelo cerca de la cosecha (Añez y Tavira, 1981)

Cuadro 12. Absorción de nutrientes por hectárea del cultivo de lechuga.

| Fuente | N Kg/ha | P ₂ O ₅ Kg/ha | K ₂ O Kg/ha | CaO Kg/ha | MgO Kg/ha |
|--|------------|--|---------------------------|--------------|--------------|
| Anstett, 1997 (Citado por Maroto et al,1999) | 55 | 20 | 120 | 35 | 10 |
| Mc George, 1940 (Citado por Zind and Yamaguchi, 1962) | 59 | 18 | 131 | ---- | ---- |
| Lorenz and Minge, 1945 (Citado por Zink and Yamaguchi, 1962) | 56 | 24 | ---- | ---- | ---- |
| Zink and Yamaguchi | 106 | 30 | 233 | 37 | 13 |

Fuente: Tarigo; Repetto; Acosta, 2004.

2.10.5. Requerimientos nutricionales del cultivo de la lechuga.

Según Resh (1987), y también mencionado por la "Guía del Huerto Hidropónico" de Perú (2000), para la producción de lechuga, se tiene la siguiente relación:

Cuadro 13. Requerimiento de nutrientes para lechuga en ppm o mg/L.

| N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | Cu | Zn | B | Mo |
|-----|----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|
| 200 | 50 | 210 | 200 | 50 | 113 | 5 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,05 |

Fuente: Resh (1987).

En el cuadro 13, se mencionan los Fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

Cuadro 14. Requerimiento en gr para 1000 L.

| Soluciones | Fertilizante | Requerimiento en gr. |
|---------------------|---------------------|----------------------|
| Solución "A" | Nitrato de Potasio | 46,612 |
| | Nitrato de Calcio | 926,32 |
| Solución "B" | Plant Prod. Canada | 763,72 |
| | Sulfato de Magnesio | 393,82 |
| | Nitrato de Amonio | 251,21 |
| | Quelato de Hierro | 4,21 |

Fuente: Murillo (2010).

2.10.6. Variedades de lechuga

Existen de hoja y de cabeza, actualmente en mercados mundiales de semillas hay muchas variedades de ambas clases.

2.10.6.1. Waldmann's Green

El cultivo no forma cabeza, de hojas son agrupadas y poco se traslapan. No se adaptan para transporte a distancia (consistencia suave) y su vida comercial es muy efímera (Halsouet y Miñanbres, 2005).

Planta es desenvuelta cuando esta tierna, medianamente compacta cuando está madura, de hojas alargadas espatuladas, poco ampolladas, con nervadura central semigruesa y de bordes escarolados. De color verde oscuro. La semilla es de color verde claro (Granval y Gaviola, s.f.).

Tipo de cogollo es Crespo, forma oval de las hojas, el limbo es ondulado y es de ciclo precoz de 60 días después del trasplante y con un rendimiento de 8-9 toneladas por hectárea (Cáceres, 1971).

2.10.6.2. White Boston

Es una variedad muy popular, conocida también como cabeza de mantequilla debido a que la apariencia de su color es poco pálido y cuando existe suficiente luz solar se observan brillos que semejan manchas irregulares parecidos al color normal de la mantequilla (Bautista, 2000).

Son relativamente pequeños, cabeza floja con hojas anchas, aceitosas, apañuscadas, ubicándose cada hoja tersa y acomodadamente una sobre otra. Son de textura muy suave. Las nervaduras son menos prominentes que en los cultivares con cabeza. La cabeza es menos firme y algo más chica que los cultivares crespa o capuchinas (Halsouet y Miñanbres, 2005).

Las hojas son de color verde claro, de borde liso, ligeramente ondulado. De aspecto muy suave, no ha podido ser superada en su terneza. Forma una cabeza de tamaño mediano (20 cm de diámetro). De consistencia firme, de semilla rosada (Granval y Gaviola, s.f.).

La intensidad de hojas es mediana, hoja ondulada y con forma oval, el grado de rizado es leve, de ciclo precoz de unos 60 días después del trasplante y con un rendimiento de 8 a 9 toneladas por hectárea (Cáceres, 1971).

2.10.6.3. Grand Rapids TBR

Según Bautista (2000), es una variedad muy precoz y se adaptan en climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varía según su cuidado y las condiciones climáticas prevalecientes. Presenta una coloración verde pálido.

Es una variedad de lechuga de hoja suelta con características muy arrugadas y presenta la forma más o menos de una rosa. Es una variedad muy precoz y se adapta a climas templados y cálidos, aunque su desarrollo y crecimiento varía según su cuidado y las condiciones climáticas prevalecientes. Presenta una coloración verde pálido pero su forma es muy agradable. La base del tallo es más o menos delgada y la formación de las hojas es de una forma aspiralada (Barrios, 2004).

Planta es desenvuelta cuando esta tierna, medianamente compacta cuando está madura, de hojas alargadas espatuladas, ampolladas, con nervadura central gruesa y de bordes escarolados. De color verde claro amarillento. De semilla negra (Granval y Gaviola, s.f.).

2.10.7. Cultivo hidropónico de lechuga

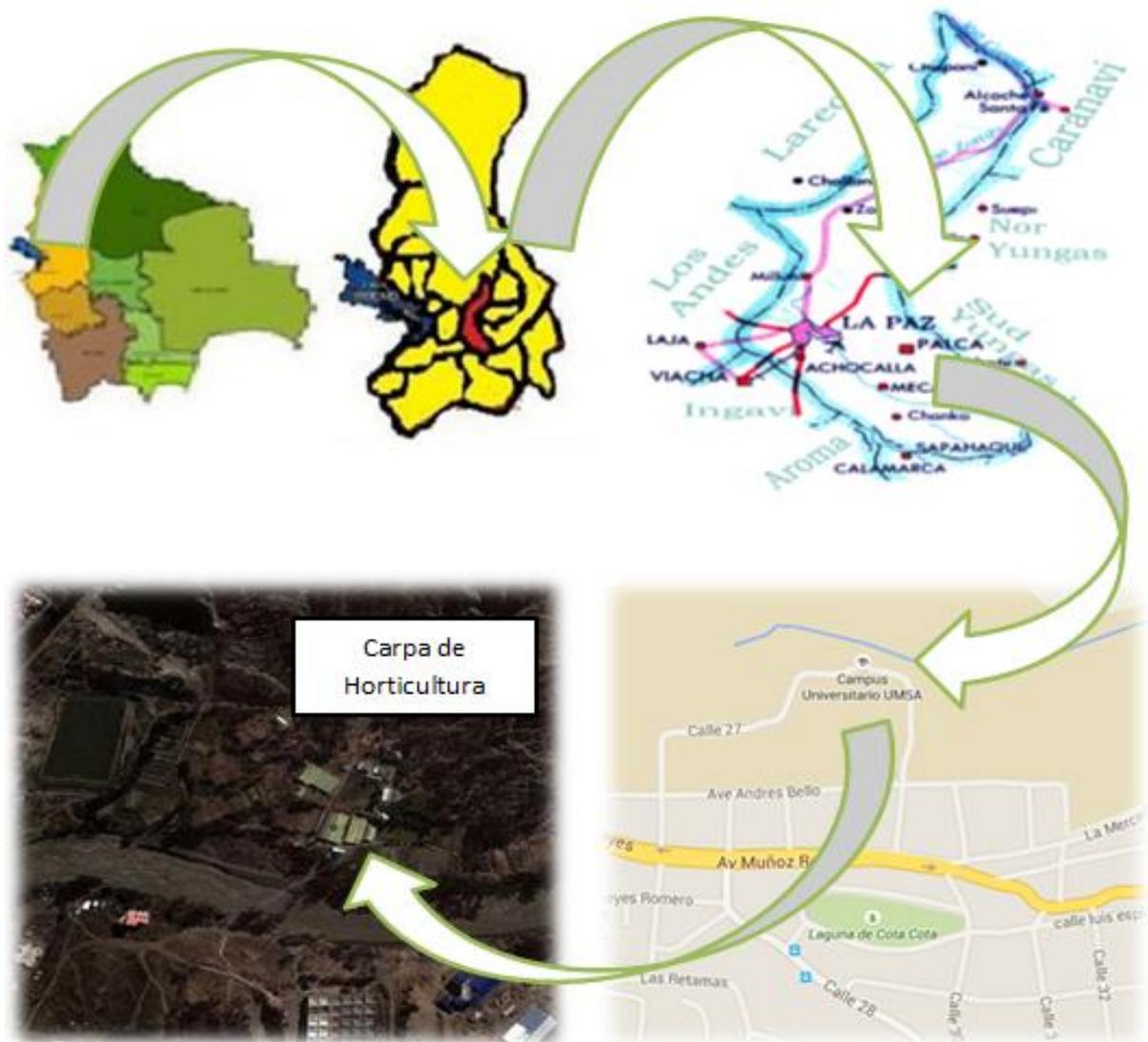
La lechuga es el cuarto vegetal más importante cultivado hidropónicamente después del tomate, pepino y chile dulce. Esta hortaliza tiene un nicho específico de mercado como un producto “gourmet”, de alta calidad, y es particularmente popular en los mercados por su durabilidad en el almacenaje por muchas veces estas se comercializan con el órgano radicular incorporado (Ninancuro, 2007).

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental de Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía (Universidad Mayor de San Andrés), ubicado en la zona sur de La Paz, geográficamente está localizada entre 16°32' de latitud Sud, y 68°30' de latitud Oeste, altitud de 3445 metros sobre el nivel del mar, temperatura media es de 11.5 °C (Instituto Geográfico Militar, 2007).

Figura 2. Ubicación del invernadero de Horticultura, lugar donde se llevó a cabo la investigación.



3.2. Características Climáticas

Las condiciones agro climáticas son de cabecera de valle los veranos son calurosos y la temperatura es de 21 °C, en la época invernal la temperatura puede bajar hasta 2 °C e incluso llegar a los 1 °C, en los meses de agosto y noviembre se presentan vientos fuertes con dirección Este, la temperatura media es de 13,5 °C con una precipitación media de 400 mm, las heladas se manifiestan en 15 días de los años con temperaturas por debajo de 0 °C, la humedad relativa media es 46%(Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014).

3.3. Suelo.

La comunidad presenta en las zonas de colina suelos muy superficiales, limitados por el contacto lítico, con muy poco desarrollo genético. Es de textura franco-arenosa. Presenta grava, grava pequeña y regular materia orgánica. Los suelos de la planicie son más profundos (0.20 - 0.40 m) aptos para agricultura intensiva. Existe menor proporción de terrazas naturales formadas a niveles anteriores a la planicie; y generalmente son destinadas a la explotación agrícola.

3.4. Vegetación y Pecuaria

Está comprendida por arboles como ser Eucaliptos, Pinos, Ciprés. Arbustos: Acacia, Retama y Chilca entre otros. El centro experimental se dedica a la producción agrícola, pecuaria (ganado menor) y apícola.

La producción agrícola se realiza a campo abierto mediante la rotación de cultivos y comprende: Maíz, Papa, Haba, Arveja, Cebolla, Betarraga entre otros. En ambiente protegido (carpas solares) la producción es hortofrutícola: Frutilla, Pepinillo, Tomate, Lechuga y otros de acuerdo a los trabajos de investigación que se desarrollen. La producción pecuaria comprende la crianza y manejo de aves (Gallinas Ponedoras, Pollos de Engorde y Patos), Porcinos, Cuyes, Conejos.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material vegetal

El material vegetal que se utilizó en la presente investigación, fueron tres variedades de lechuga White Boston, Grand Rapids TBR: y Waldmann's Green cuyas características ya fueron mencionadas.

4.1.2. Material de laboratorio

- ❖ Balanza analítica de un kilo de capacidad.
- ❖ Vaso precipitado con una capacidad de 100 centímetros cúbicos.
- ❖ Peachimetro para la medición de la acides y de bases de la solución.
- ❖ Conductimetro para medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.

4.1.3. Material de campo

Los materiales que se utilizaron para la construcción del sistema hidropónico recirculante fueron los siguientes:

- ✓ Maderas de pino de 2 metros y 1,8 metros, con un espesor 2 pulgadas y 3 pulgadas.
- ✓ Tubos de PVC (Poly Vinyl Chloride) de 3 Pulgadas de diámetro y una cantidad de 25 barras.
- ✓ Tubos de PVC (Poly Vinyl Chloride) de 2 Pulgadas de diámetro y de longitud 10 metros.
- ✓ Polytubo de ½ Pulgada de diámetro y 12 metros de longitud.
- ✓ Micro tubo de 6 milímetros de diámetro y 10 metros de longitud.
- ✓ 10 conectores para emisores.
- ✓ 2 llaves de paso con unión patente de 1 Pulgada de diámetro para el retorno y la distribución.
- ✓ 6 tapones de PVC (Poly Vinyl Chloride) 3 pulgadas de diámetro.
- ✓ Un tanque de agua con una capacidad de 300 Litros.
- ✓ Una bomba de agua de ½ HP de potencia.
- ✓ 5 kilos de clavos de 2 pulgadas y de 1 pulgadas.

- ✓ Una hoja de esponja de 4 centímetros de espesor.
- ✓ Hojas de plastofomo en un total de 12, de largo 1 metro y 0,5 metros de ancho.
- ✓ Agrofilm de 15 metros de largo y 4 metros de ancho.
- ✓ Taladro, serrucho, martillo, alicate, cubetas y cita métrica.

4.1.4. Material químico

- Plant prod Canadá en cantidad de 381,860 gr.
- Nitrato de amonio (NH_4NO_3) en cantidad de 125,605 gr.
- Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) en cantidad de 463,160 gr.
- Sulfato de Magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en cantidad de 196,91 gr.
- Nitrato de Potasio (KNO_3) en cantidad 23,306 gr.
- Quelato de hierro en cantidad de 2,105 gr.

4.1.5. Material de escritorio

- Máquina de calcular, lápices, computadora, hojas de papel bond, cámara y regla.

4.2. Metodología

4.2.1. Trabajo de campo

4.2.1.1. Almácigos

Se preparó dos tipos de almacigo, ya que fue un factor más, de la presente investigación.

a) Almacigo de esponja

Se elaboró de plastofomo de medidas 50x30 cm y 5 cm de espesor, con unos orificios cuadrados de medidas 2x2 cm y estuvieron separadas por 1 cm unas de otras, y con una base en la parte inferior y una tapa en la parte superior.

Se utilizó una esponja corriente de 4 cm de espesor, la cual fue cortada en pequeños trozos de 2x2 cm y se mantuvo el espesor inicial, también se hizo unos orificios utilizando una pinza metálica, en la parte superior de la esponja, de 1 cm de

profundidad. Las semillas se introdujeron en los pequeños orificios situados al medio de las esponjas y se depositaron en los espacios del plastoforno, para posteriormente taparlos. Estaban cubiertos y en total oscuridad por 3 días para facilitar y acelerar el crecimiento de las raíces, después se retiró la cubierta y se expuso a la luz durante 12 días.

b) Almacigo de sustrato inerte

Se construyó una bandeja de madera de 80 cm por 100 cm y una altura de 10 cm, esta bandeja a la vez fue forrada por agrofilm de 200 micras de espesor, teniendo en la base orificios de 2 mm. El sustrato que se utilizó tuvo una relación de 4 partes de arena fina de río, 4 partes de turba, 2 partes aserrín no descompuesto.

La siembra fue a 0,5 cm de profundidad utilizando una regla para hacer el marcado y separándolos entre líneas de 5 cm y 1 cm entre semilla y semilla. Estuvo por 15 días hasta que la plantita tuvo unas 3 a 4 hojas.

4.2.1.2. Contenedores de crecimiento

Se elaboró 4 contenedores de madera y agrofilm de 80 cm de ancho y 2 m de largo, estos contenedores tienen el principio del sistema de raíz flotante, contaron con los platofornos conocidos como bandejas de sujeción o crecimiento, esto con el fin de que contengan a las plantas por un lapso de 20 días y posteriormente fueron trasplantadas.

4.2.1.3. Armado de la Estructura del sistema flujo laminar de nutrientes (NFT)

a) Nivelado del suelo para la estructura

Se niveló el suelo para que la pirámide pueda reposar en un área sin pendiente y también se utilizó un herbicida (Glifomax 20 ml/20 litros de agua) el cual permitió que se pueda trabajar con mayor facilidad durante toda la duración del experimento.

b) Pirámide de madera

Se armó una pirámide de madera de pino (figura 3), con medidas: 1,80 metros de largo, 5 cm de espesor y 8 cm de ancho, el cual sirvió como la base de la pirámide.

Las maderas con pendiente midieron 2,0 metros de largo, 5 cm de espesor y 8 de ancho. Las maderas fueron sujetadas por clavos en forma de "A" y cada triángulo estaba separado cada 1,20 metros.

c) Canales de cultivo

Los canales de cultivo fueron constituidos con 18 tubos de PVC de diámetro de 3 pulgadas y con un largo de 4 metros. Estos tubos se cortaron a la mitad longitudinalmente utilizando una amoladora. Posteriormente fueron tapados con plastoformo de 1 cm de espesor, también se abrieron orificios de 1 pulgada para la planta, separados a 20 cm entre planta y planta. Los canales de cultivo en los dos extremos se taparon para evitar el calentamiento. Todos los canales de cultivo reposaron en las pirámides de madera, de medidas: de ancho 0,85 m y una altura de 2,1 m, los canales tendrán una pendiente de 2%, separados una de otra por 0.30 m.

d) Estanque colector

Se utilizó un recipiente de plástico con una capacidad de 300 litros. El tamaño en función del volumen según los requerimientos del cultivo por día, en el caso de lechuga requiere 0,125 litros/planta de solución nutritiva (Carrasco, 1996).

e) Red o tubería de distribución

Se utilizó Polytubo el cual fue instalado a la bomba y recorría toda la pirámide hasta llegar a los canales de cultivo (donde inicia la pendiente), la solución se distribuyó en una relación de 2 litros por minuto, utilizando emisores (micro tubo de 6 mm) y presionándolos con alambre galvanizado.

f) Bomba de agua

La bomba tiene una potencia de 1 HP, el tubo de la entrada de la solución fue instalado con un succionador inoxidable para evitar la entrada de impurezas que pueden afectar al buen funcionamiento de la bomba. También tiene dos llaves una para retorno directo al tanque y otra para regular la distribución de la solución nutritiva.

g) Tubería colectora

Al final de cada canal de cultivo se conectó los tubos flexibles (utilizados en el cableado de electricidad) para que el agua vaya del tubo superior al tubo inferior y así sucesivamente hasta completar tres tubos y posteriormente llegar al tubo de desagüe que tiene un diámetro de 2 pulgadas y luego pasar al tanque colector.

4.2.1.4. Agua para la Solución Nutritiva

Se utilizó el agua potable del Centro Experimental de Cota Cota, esta se descloro de dos maneras. La primera fue utilizando el desclorador Aqua Safe, que es un producto comercial que está compuesto de Organic Chelating Compounds, Sodium Hydroxymethane, Sulfinate, polyvinylpyrrolidones y Organic Coloids. La segunda manera fue dejando reposar al sol durante 12 horas.

4.2.1.5. Preparación de la solución nutritiva para el primer trasplante

Para la presente investigación, se utilizó los fertilizantes formulados por Murillo (2010), para la preparación de 500 litros de solución nutritiva el cual requiere las siguientes cantidades de fertilizantes:

Solución "A": Nitrato Potasio 23,306 gramos, Nitrato de Calcio 463,16 gramos. Está denominado solución A, porque se disuelve por separado de la solución B.

Solución "B". Plant Prod Canada 381,86 gramos, Sulfato de Magnesio 196,91 gramos, Nitrato de Amonio 125,605 gramos y Quelato de Hierro 2,105 gramos.

Posteriormente fueron mezcladas en 500 litros de agua desclorada. Esta solución nutritiva se formuló utilizando el programa CSolN (preparación de soluciones nutritivas), este programa toma en cuenta los requerimientos nutricionales de la planta como también la estación del año (invierno y verano) y es una de las soluciones nutritivas más efectivas en cuanto a la producción de hortalizas de hoja.

Para el área de crecimiento inicial solo se gastó 100 litros de solución nutritiva, porque se hizo dos cambios en cada cambio se utilizó 50 litros de solución nutritiva.

4.2.1.6. Primer trasplante o post almacigo

Se realizó el trasplante después de 15 días de haber sembrado la semilla y que los plantines tengan alrededor de 2 a 3 hojas verdaderas, se utilizó una cuchara para extraer los plantines y toda su raíz y luego lavarlas en agua desclorada para que no tenga ningún resto de sustrato inerte y posteriormente ponerlo a las esponjas y al plastoformo que reposan en las piscinas, esto en el caso del almacigo en sustrato inerte. En el caso del almacigo en esponja solo se colocó en los orificios de los plastoformo (bandejas de crecimiento) para luego introducir las a las piscinas contenidas con la solución nutritiva.

Las plantas estuvieron, en el área de crecimiento primario, durante 20 días y posteriormente se trasladaron al área de crecimiento final.

4.2.1.7. Preparación de la solución nutritiva para el trasplante definitivo

Tomando en cuenta la cantidad de dicha solución para cada trasplante. En la presente investigación se preparó 100 litros para cada 10 días que estaban en el área de crecimiento final, en total fueron 4 cambios.

Realizando una suma se tiene 6 cambios de la solución en todo el ciclo productivo del cultivo de la lechuga se tiene un total de 500 litros de solución nutritiva. Tomando en cuenta que cada planta absorbe 1/8 de litro de solución nutritiva por planta.

4.2.1.8. Trasplante definitivo

Se introdujo a los orificios de los plastoformos que estaban en los canales de cultivo, cada plantin, tomando cuidado de que toda la raíz entre y este en contacto con la solución recirculante.

4.2.1.9. Medición de la temperatura

Se obtuvo los datos de temperatura todos los días, de tres tipos de temperatura: primero la temperatura de la carpa esto hasta el segundo y definitivo trasplante, la temperatura del tubo superior desde que las plantas pasaron a los canales de cultivo y la temperatura del tubo inferior, la temperatura de la solución nutritiva esto desde el primer trasplante hasta la finalización de la investigación.

a) Temperatura de la carpa

Utilizando un termómetro se midió la temperatura del ambiente donde estaban los dos tipos de almacigo, el almacigo de sustrato inerte y el almacigo de esponja corriente. Las temperaturas tuvieron un promedio de 31,3 °C como máxima y un promedio de 14,6 °C como mínima, dentro del ambiente del invernadero. Los datos de temperatura máxima, fueron tomados a las 12:00 pm porque a esta hora es donde la temperatura sube a su nivel más alto y los datos de temperatura mínima fueron tomados a las 06:00 am porque es donde la temperatura llega a su nivel más bajo.

Para la medición de la temperatura del ambiente de la carpa donde se encontraba la estructura de NFT, se utilizó dos termómetros, uno colocado en el tubo superior (canal de cultivo ubicada en la parte de arriba de la pirámide) y el otro colocado en el tubo inferior (canal de cultivo ubicada en parte de abajo de la pirámide), para tener el dato de como las temperaturas varían a lo largo de la investigación. La temperatura del tubo superior, tuvo un promedio de 30,9 °C como máxima y un promedio de 5,1 °C como mínima. La temperatura del tubo inferior, tuvo un promedio de 26,6 °C como máxima y un promedio de 3,5 °C como mínima. De los datos adquiridos concluimos que el tubo superior tiene una mayor temperatura en el día y en la noche su temperatura no desciende como la del tubo inferior.

b) Temperatura de la solución

La segunda temperatura medida, fue tomada de la solución nutritiva, esto para controlar que la misma no exceda los 22 °C porque afectaría la parte radicular de las plantas. El promedio de la temperatura de la solución fue de 18,7 °C, el cual fue tomado en horas de mayor calor que fue a las 12:00 pm, esta temperatura de la solución no afectó al desarrollo del cultivo de lechuga.

4.2.1.10. pH de la solución nutritiva

Estos datos se tomaron todos los días, utilizando un Peachimetro, desde el primer trasplante hasta la finalización del experimento. Teniendo como promedio de pH de

la solución nutritiva de 6,45, este dato se obtuvo a las 14:00 pm desde el día 16 hasta el día 70 de la investigación.

Se realizó tres ajustes del pH, en el último estado fenológico del cultivo de lechuga, cuando este valor llegaba a un estado básico de 7.3, añadiendo ácido sulfúrico al 85% de pureza, en una cantidad de 13 ml en 100 litros de solución nutritiva.

4.2.1.11. Conductividad eléctrica

Estos datos se tomaran todos los días, utilizando un Conductímetro desde el primer trasplante hasta la finalización del experimento. Se obtuvo un promedio de 1.743 mmhos/cm, dato medido a las 14:00 pm desde el día 16 hasta el día 70 de la investigación.

4.2.1.12. Cosecha

Cuando la lechuga alcanzo su mayor tamaño, esto a los 70 días, se procedió a la cosecha y retirado de los restos de esponja sujeta en la parte radicular, para posteriormente ser lavada la parte radicular, embolsada y llevada al mercado de Achumani para su venta.

4.2.2. Diseño experimental

En la presente investigación, se utilizó un diseño de bloques al azar (DBA) con arreglo bifactorial o de dos factores, y tres repeticiones de acuerdo al modelo estadístico (Ochoa, 2009).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + E_{ij}$$

Dónde:
 Y_{ijk} = Una observación cualquiera.
 μ = Media poblacional.
 α_i = Efecto del i-esimo nivel del factor A (Tipos de almacigo).
 β_j = Efecto de la j-esima nivel del factor B (Variedades de semilla).
 E_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental (Interacción factor A * factor B).

Factor A = Dos tipos de almacigo de esponja corriente y de sustrato inerte.

Factor B = Tres variedad de lechuga Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR.

La interacción de los dos factores, “tipos de almacigo” y “variedades de lechuga”, forma 6 tratamientos, cada tratamiento consta de 3 repeticiones, por lo tanto se contabiliza 18 unidades experimentales, como se puede apreciar en la cuadro 13.

Cuadro 15. Interacción de los factores A y B.

| Factor “A” | Factor “B” | Interacción de los Factores | Tratamientos |
|-----------------------------|-----------------------|---|--------------|
| Tipos de Almacigo | Variedades de lechuga | Factor A * Factor B | |
| Almacigo de Esponja | Waldmann’s Green | Almacigo de Esponja con semilla de Waldmann’s Green. | T-1 |
| | White Boston | Almacigo de Esponja con semilla de White Boston | T-2 |
| | Grand Rapids TBR | Almacigo de Esponja con semilla de Grand Rapids TBR. | T-3 |
| Almacigo de Sustrato Inerte | Waldmann’s Green | Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de Waldmann’s Green | T-4 |
| | White Boston | Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de White Boston | T-5 |
| | Grand Rapids TBR | Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de Grand Rapids TBR | T-6 |

Los tratamientos fueron obtenidos en base a la interacción de los dos factores, “tipos de almacigo” y “variedades de lechuga”. De esta manera se determinó los tratamientos como se puede apreciar a continuación.

T1: Tratamiento 1 - Almacigo de Esponja con semilla de Waldmann’s Green.

T2: Tratamiento 2 - Almacigo de Esponja con semilla de White Boston.

T3: Tratamiento 3 - Almacigo de Esponja con semilla de Grand Rapids TBR.

T4: Tratamiento 4 - Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de Waldmann’s Green.

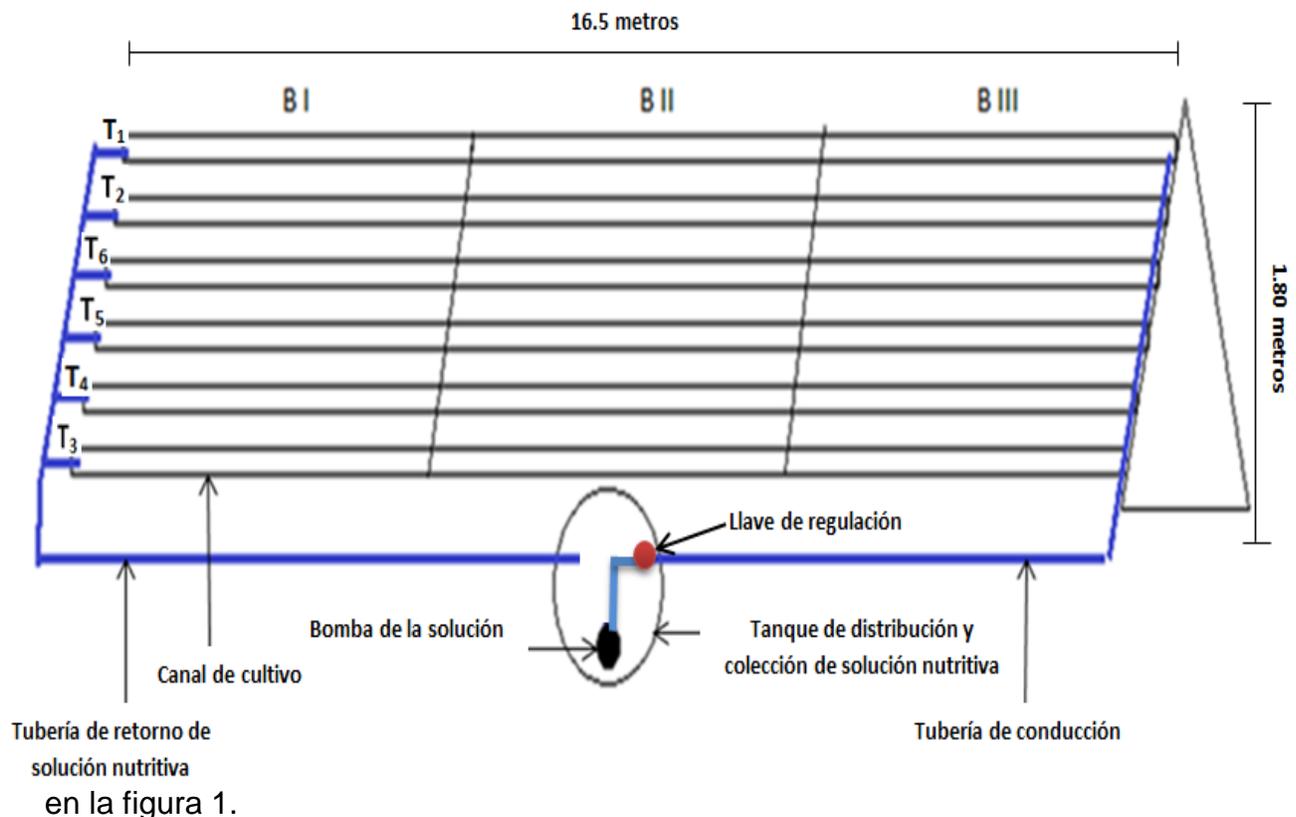
T5: Tratamiento 5 - Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de White Boston.

T6: Tratamiento 6 - Almacigo de Sustrato Inerte con semilla de Grand Rapids TBR.

4.2.3. Croquis del experimento

El croquis de la presente investigación se encuentra en la carpa de Horticultura de la Estación Experimental de Cota Cota, el área experimental es de 80 m², las pirámides de la estructura NFT, tienen una altura de 1,80 metros y los canales de cultivo un largo de 16,5 metros. Las plantas están separadas a una distancia de 0,2 metros, teniendo por cada canal de cultivo 82 plantas, haciendo un total de 492 plantas. La elección de las unidades observadas se la hicieron al azar, tomando 4 muestras por cada tratamiento, haciendo un total de 72 muestras de los cual se tomó los datos de variables. La distribución de los tratamientos y los bloques se detalla a

Figura 3. Distribución de las unidades experimentales.



4.2.4. Variables de respuesta

4.2.4.1. Porcentaje de germinación

Este dato se obtuvo cada 5 días, desde la siembra, hasta los 15 días después de la siembra, datos tomados de almacigueras preparadas aparte, una de sustrato inerte y

la otra en esponja, las cuales contaban con 50 semillas cada una, haciendo un total de 300 semillas sembradas.

4.2.4.2. Largo de raíz

Dato que se tomó después de los 17 días de la siembra, con la frecuencia de cada 4 días, hasta el día 30 después de la siembra.

4.2.4.3. Porcentaje de mortandad

Se adquirió desde el día 16, después del primer trasplante, con una frecuencia de 3 días hasta los 40 días después de la siembra.

4.2.4.4. Numero de hojas

La determinación del número de hojas por planta se realizó mediante el conteo desde la primera hoja con desarrollo completo a excepción de aquellas que recién emergían de la roseta, los datos se tomaron con una frecuencia de 10 días en 24 muestras por variedad, después de 10 días de la siembra, hasta los 70 días o coincidiendo con la cosecha.

4.2.4.5. Volumen de raíz

Este dato se obtuvo al final de la cosecha, utilizando un vaso precipitado con un volumen de agua conocido y se sumergió toda la raíz de la muestra y se obtuvo este dato restando el volumen conocido al volumen total.

$$\text{Volumen Total} = \text{Volumen de Agua Conocido} + \text{Volumen Rdicular}$$

$$\text{Volumen Rdicular} = \text{Volumen Total} - \text{Volumen de Agua Conocido}$$

4.2.4.6. Rendimiento en peso fresco

Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en gramos después de la cosecha, se procedió al pesado correspondiente de las muestras de cada variedad y por tratamiento utilizando la balanza, posteriormente estos datos se tabularon para sacar el promedio de peso fresco por cada tratamiento.

4.2.4.7. Análisis Económico Preliminar

La evaluación Económica preliminar se realizó según la metodología propuesta por CIMMYT (1988), que recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales. Los rendimientos se ajustaron al menos 10% por efecto del nivel de manejo, puesto que el experimento estuvo sujeto a cuidados y seguimientos que normalmente no se dan en condiciones de producción comercial.

a) Beneficio Bruto (BB)

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

$$BB = R \times PP \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del producto (Bs)

b) Costos Variables (CV)

Es la suma que varía de una alternativa a otra, relacionados con los insumos, mano de obra, maquinaria utilizados en cada tratamiento, fertilizantes, insecticidas, uso de maquinaria, jornales y transporte (CIMMYT, 1988).

c) Costos Fijos

Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. El costo fijo no se aumenta o disminuye la producción.

d) Costos Totales

Es la suma del costo total variable más el costo total fijo. Se suman estos dos costos para conocer cuánto de dinero se utilizó en total en un ciclo de producción de lechuga hidropónica.

e) Beneficio Neto (BN)

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

$$BN = BB - CP \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde:

BN = Beneficios Netos (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de producción (Bs)

f) Relación Beneficio / costo (B/C)

Es la relación que existe entre los beneficios brutos (BB), sobre los costos de producción (CP).

$$B/C = BB/CP \text{ (Ecuación 3)}$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Cuando:

(B/C) > 1 Aceptable

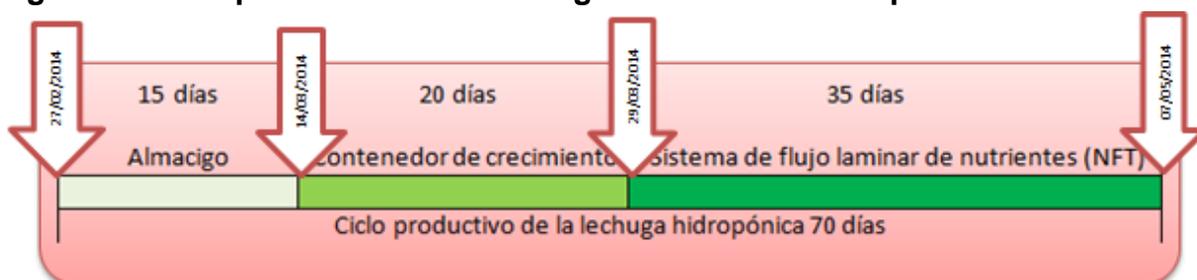
(B/C) = 1 Dudoso

(B/C) < 1 Rechazado

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para tener una mejor comprensión de las variables de respuesta esto se lo dividió en base a las tres áreas: área de germinación (almacigueras de sustrato inerte y esponja corriente), área de crecimiento inicial (contenedores de crecimiento) y área de crecimiento final (sistema de flujo laminar de nutrientes) con respecto al ciclo de producción de la lechuga hidropónica de la presente investigación, esto se detalla en la siguiente figura.

Figura 4. Ciclo productivo de la lechuga en sistemas hidropónicos.



5.1. Variable de respuesta en almacigo

5.1.1. Porcentaje de germinación en almaciguera

El porcentaje de germinación se determinó contando el total de semillas germinadas a los 15 días después de la siembra del cultivo de lechuga en los dos tipos de almacigo y tres variedades, estos datos se muestran en el siguiente (cuadro 15).

Cuadro 16. Porcentaje de germinación de las tres variedades de lechuga.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (%) | | | Promedio (%) |
|---------------------|---------------------------|-------|-------|--------------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 52,14 | 90,71 | 90,00 | 77,61 |
| Sustrato Inerte | 73,57 | 93,57 | 92,85 | 86,66 |
| Promedio (%) | 62,85 | 92,14 | 91,42 | |

WG: Waldmann's Green

WB: White Boston

GR: Grand Rapids TBR

De acuerdo al porcentaje de germinación, se encontró que la variedad White Boston tuvo 92,14% de germinación, seguido de la variedad Grand Rapids TBR con 91,42%, a su vez se diferencia de los de más con menor promedio la variedad Waldmann's Green con 62,85% en promedio.

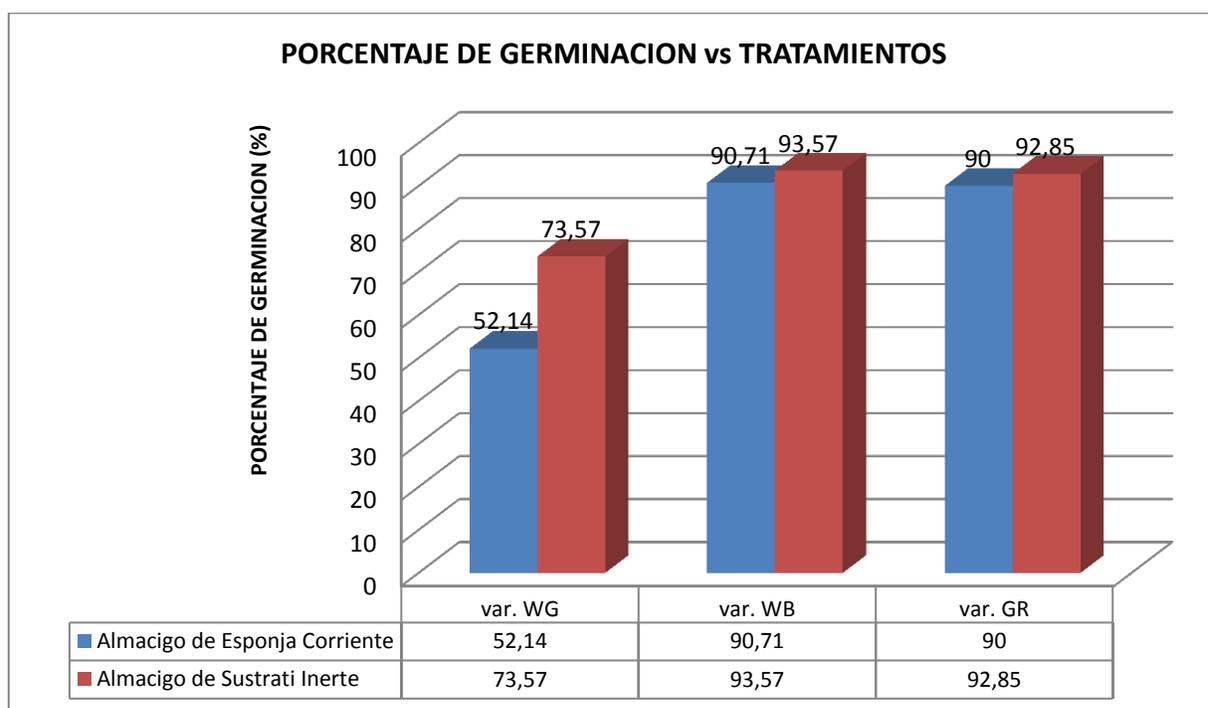
En cuanto a los promedios de los dos tipos de almacigo, se obtuvo un mayor promedio de germinación con el almacigo de Sustrato Inerte (40% de arena fina de río, 40% de turba y 20% de aserrín no descompuesto), con 86,66% y el almacigo de Esponja Corriente con 77,61% de germinación.

En conclusión (cuadro 15) se puede afirmar que la variedad con mayor porcentaje de germinación es la variedad White Boston y el almacigo que presento mayor porcentaje de germinación es el Sustrato Inerte.

5.1.1.1. Comparación de medias para el porcentaje de germinación

En la figura 4, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 5. Porcentaje de germinación de las tres variedades de lechuga en los dos tipos de almacigo.



Como se observa en la figura 4, la variedad White Boston tuvo un mayor porcentaje de germinación con 93,57% seguido de la variedad Grand Rapids TBR que obtuvo 92,85%, estas dos variedades tuvieron una mayor germinación, con respecto a la variedad Waldmann's Green que consiguió germinar solo un 52,14%.

Por lo cual se afirma que el mejor tratamiento que obtuvo mayor germinación fue el tratamiento 5 (Variedad White Boston en almacigo de Sustrato Inerte), seguido por el tratamiento 6 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Sustrato Inerte).

Se sospecha que la semilla de la variedad Waldmann's Green no era fresca, puesto que fue la variedad con menor porcentaje de germinación con relación a las variedades White Boston y Grand Rapids TBR.

También la poca humedad de la esponja pudo probablemente afectar el proceso de germinación, a pesar que estas se regaban cada 60 minutos, al momento de regarlas nuevamente la esponja estaba seca en la parte superior donde contenía a las semillas.

Se puede aseverar que no fue homogéneo la germinación de las semillas en el almacigo de Esponja Corriente, esto se debe a que las semillas estuvieron cubiertas en total oscuridad para agilizar la germinación y estimular el crecimiento radicular, durante tres días y al momento de exponerlas a la luz, muchas de estas semillas no habían germinado y se deshidrataron por lo cual no pudieron germinar, esto se observó con mayor claridad en la variedad Waldmann's Green en almacigo de Esponja Corriente. Si se supera los tres días de oscuridad que se somete a las semillas, muchas de las semillas que consiguen germinar presentan elongación.

También se puede afirmar que el riego afecto de gran manera a las semillas que estaban depositadas en los pequeños orificios de las esponjitas de 2x2x4, puesto que al aplicar el riego las semillas salían expulsadas del orificio, esto se debe a que no se utilizó esponja agrícola y también porque el orificio solo tenía 1 cm de profundidad y la semilla no estaba cubierta.

5.2. Variables de respuesta en contenedores de crecimiento

5.2.1. Largo de raíz en contenedores de crecimiento

El largo de la raíz de la planta del cultivo de lechuga, nos indica el momento de trasplante a los canales de cultivo, el largo de raíz por efecto de los factores tipos de almacigo y variedades, se muestra en el siguiente (cuadro 16).

Cuadro 17. Largo de raíz de la planta entre variedades de lechuga bajo dos tipos de almacigo.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (cm) | | | Promedio |
|-------------------|----------------------------|-------|-------|----------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 12,01 | 10,68 | 11,79 | 11,49 |
| Sustrato Inerte | 13,75 | 11,05 | 12,99 | 12,59 |
| Promedio | 12,88 | 10,86 | 12,39 | |

WG: Waldman's green

WB: White Boston

GR: Grand rapids TBR

De acuerdo al cálculo en promedio, para la variable largo de raíz de planta, se encontró que la variedad Waldmann's Green tuvo 12,88 cm, seguido por la variedad Grand Rapids TBR con 12,39 cm y con menor tamaño en relación al largo de la raíz la variedad White Boston con 10,86 cm.

Para el factor tipos de almacigo se comprobó que el mayor largo de raíz se presenta en el almacigo de Sustrato Inerte con 12,59 cm y con menor tamaño en el largo de raíz el almacigo de Esponja Corriente con 11,49 cm.

Para una mejor evaluación de la variable largo de raíz de la planta del cultivo de lechuga por efecto de los dos tipos de almácigos y variedades, se realizó el análisis de varianza (Cuadro 17).

Cuadro 18. ANVA para el largo de raíz de la planta del cultivo de lechuga.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Ft (0.05) |
|--------------------------|----|-------|------|------|------------|
| Bloques | 5 | 20,16 | 4,03 | 5,51 | 3,106 ** |
| Factor tipos de almacigo | 1 | 5,47 | 5,47 | 7,47 | 4,747 * |
| Factor variedades | 2 | 13,25 | 6,63 | 9,06 | 3,885 ** |
| Almácigos * variedades | 2 | 1,44 | 0,72 | 0,99 | 3,885 N.S. |
| Error | 12 | 8,78 | 0,73 | | |
| Total | 17 | 28,94 | | | |

* Significativo al 5% ** Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

C.V. = 7.10%

En el cuadro 17, se observa que existe diferencias estadísticas altamente significativas, entre bloques, esto indica que la solución nutritiva tubo efecto directo

en la variable largo de raíz, estadísticamente esto nos muestra que se tuvo buena precisión en el diseño.

Se han encontrado diferencias significativas para el factor tipos de almacigo lo que significa que el crecimiento radicular difiere en los dos tipos de almacigo.

También tubo diferencias altamente significativas para el factor variedades esto también se atribuye a la solución nutritiva.

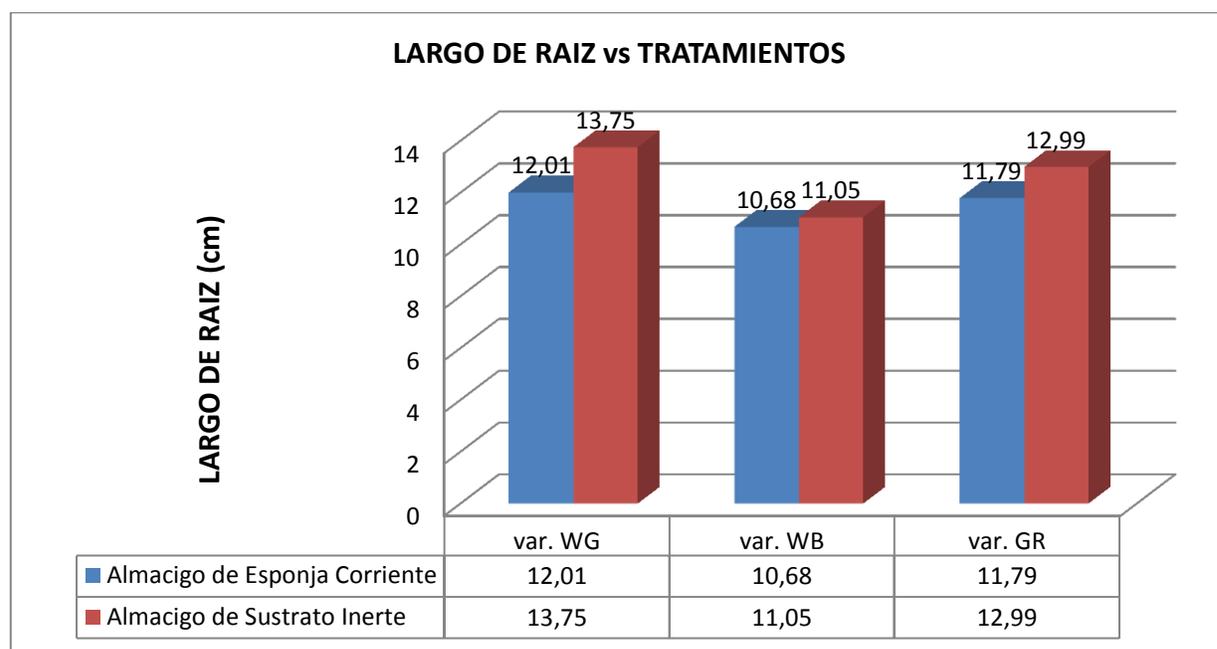
Para la interacción de tipos de almacigo por variedades no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 7,10% indicando, que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad; además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

5.2.1.1. Comparación de medias para el largo de raíz

En la figura 5, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 6. Largo de raíz del cultivo de lechuga por tratamiento.



De la figura 5, se deduce que la variedad Waldmann's Green tuvo un mayor crecimiento radicular con 13,75 cm seguido por la variedad Grand Rapids TBR que obtuvo 12,99 cm y por último y con menor crecimiento en el largo de raíz la variedad White Boston con 10,68 cm.

El mejor tratamiento que obtuvo mayor crecimiento en el largo de raíz fue el tratamiento 4 (Variedad Waldmann's Green en almacigo de Sustrato Inerte), seguido por el tratamiento 6 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Sustrato Inerte). Por lo cual se afirma que las variedades Waldmann's Green y Grand Rapids TBR pueden ser trasplantados en menor tiempo a los canales de cultivo del sistema NFT.

Se estima que el largo de raíz se puede atribuir a las variedades de semilla del cultivo de lechuga, ya que la variedad White Boston tiene las raíces más gruesas en comparación a las variedades Waldmann's Green y Grand Rapids TBR.

Se asevera que la esponja corriente tenía poca porosidad lo que dificultó el paso libre de las raíces y por consiguiente su crecimiento. En cambio en el almacigo de sustrato inerte las raíces pudieron movilizarse con mayor facilidad y consiguiendo así un mejor crecimiento.

La frecuencia de riego tanto en la etapa de almacigo y el área de crecimiento inicial son de mucha importancia en el crecimiento radicular, se sospecha que esto fue un factor determinante en la variable largo de raíz.

También se atribuye a la intensidad lumínica a las esponjas en el área de crecimiento inicial, porque la esponja utilizada es de color claro y esto facilitó a que la luz llegue al área radicular de las plantas.

5.3. Variables de respuesta en sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT)

5.3.1. Porcentaje de mortandad en el sistema NFT

El porcentaje de mortalidad se determinó contando el total de plantas muertas a los 40 días después de la siembra del cultivo de lechuga en los dos tipos de almacigo y

tres variedades, se contabilizó las semillas que habían germinado y muerto por diferentes razones, estos datos se muestran en el siguiente (cuadro 20).

Cuadro 19. Porcentaje de mortandad de las tres variedades de lechuga.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (%) | | | Promedio |
|--------------------------|---------------------------|-------|------|----------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 5,71 | 11,42 | 4,28 | 7,13 |
| Sustrato Inerte | 2,85 | 5,63 | 1,43 | 3,30 |
| Promedio | 4,28 | 8,52 | 2,85 | |

WG: Waldmann's Green WB: White Boston GR: Grand Rapids TBR

De acuerdo con el porcentaje de mortandad, se encontró que la variedad White Boston tuvo una mayor mortandad de 8,52%, seguido de la variedad Waldmann's Green con 4,28% y con menor porcentaje de plantas muertas esta la variedad Grand Rapids TBR con 2,85%.

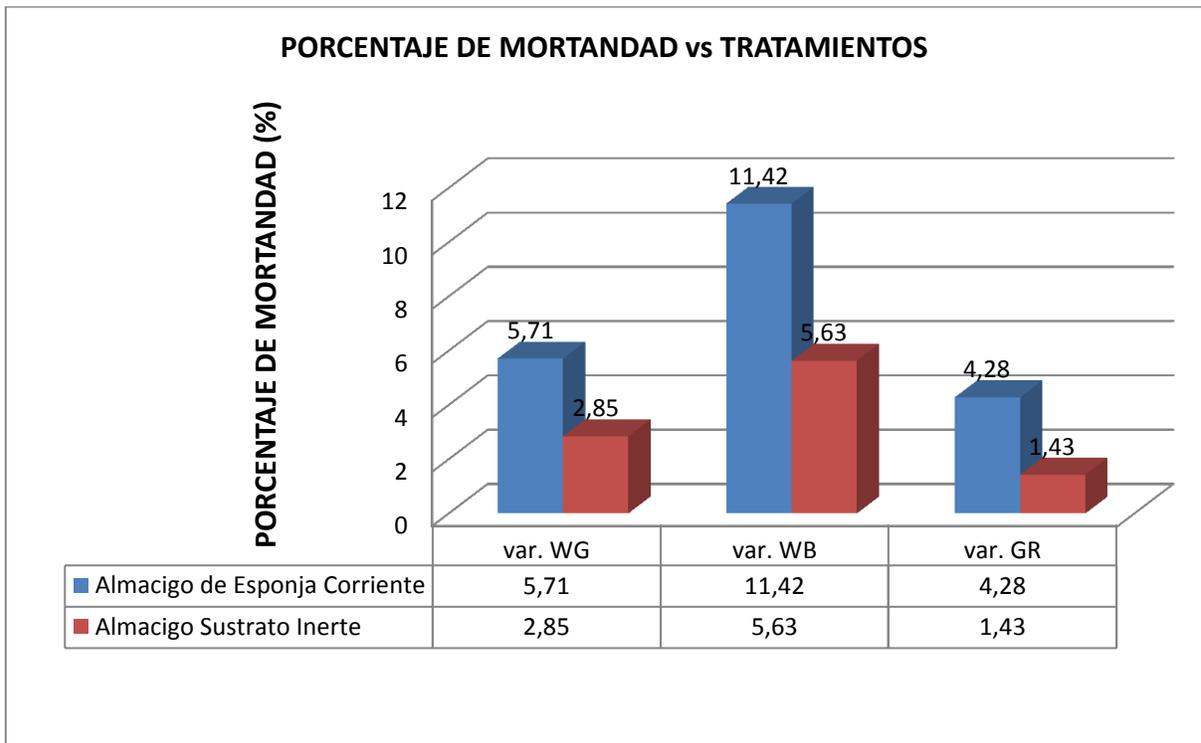
Para el factor tipos de almacigo, se obtuvo un promedio mayor con el almacigo de esponja corriente con 7,14% de mortandad y 3,30% de mortandad para el almacigo de sustrato inerte.

En conclusión (cuadro 20) se puede afirmar que la variedad con menor porcentaje de mortandad es la variedad Grand Rapids TBR y el almacigo que presentó menor porcentaje de mortandad es el almacigo de Sustrato Inerte.

5.3.1.1. Comparación de medias para el porcentaje de mortandad

En la figura 7, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 7. Porcentaje de mortandad de las tres variedades de lechuga en dos tipos de almacigo.



Como se observa en la figura 7, se concluye que la variedad Grand Rapids TBR en almacigo de sustrato inerte, tuvo un menor porcentaje de mortandad con 1,43%, seguido por la variedad Waldmann's Green en almacigo de sustrato inerte con 2,85% y por último la variedad con mayor porcentaje de mortandad es White Boston en almacigo de esponja corriente que obtuvo 11,42%.

El tratamiento que obtuvo menor porcentaje de mortandad fue el tratamiento 6 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Sustrato Inerte), seguido por el tratamiento 4 (Variedad Waldmann's Green en almacigo de Sustrato Inerte).

Esto se asevera a que las variedades Grand Rapids TBR y Waldmann's Green en almacigo de Sustrato Inerte, adquirieron un mayor tamaño de largo de raíz, facilitando la absorción de nutrientes en el área de crecimiento inicial y el área de crecimiento final.

En cambio el mayor porcentaje de mortandad se presentó en el tratamiento 2 (Variedad White Boston en almacigo de Esponja Corriente), el promedio obtenido se atribuye al menor tamaño radicular para captar o absorber la solución nutritiva.

Se sospecha que la calidad de semilla pudo afectar en el crecimiento de la planta, porque no hubo una homogeneidad en cuanto al crecimiento tanto radicular como del vástago de la planta provocándose la muerte de las plantas más pequeñas.

Por lo cual se afirma que el tamaño de la planta al momento del trasplante de vital importancia para obtener un menor porcentaje de mortandad.

El almacigo de esponja corriente no fue apto para el crecimiento radicular, por la poca porosidad de la misma, esto afecto a la larga, porque las semillas germinadas no pudieron absorber los nutrientes por el poco crecimiento radicular.

Lo contrario sucedió con almacigo de sustrato inerte que tuvo un mejor crecimiento radicular haciendo así que estas plantas tengan un menor número de plantas muertas.

La mala manipulación de las plantas al momento del trasplante se especula que afecto de gran manera en el porcentaje de mortandad, ya que al momento de trasplantar al área de crecimiento inicial (introducir a las bandejas Pyfli), muchas de las raíces se maltrataban e incluso se fragmentaban provocándose así su posterior muerte.

Uno de los factores que se sospecha pudo afectar en la muerte de las plantas es la humedad de las esponjas en el área de crecimiento inicial, porque no se contó con riego de nebulizadores.

5.3.2. Numero de hojas en el sistema NFT

El número de hojas del cultivo de lechuga por efecto de dos tipos de almacigo y variedades, se observa en el (cuadro 18).

Cuadro 20. Numero de hojas entre variedades de lechuga bajo efecto de dos tipos de almácigos.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (cm) | | | Promedio |
|-------------------|----------------------------|-------|-------|----------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 23,33 | 30,33 | 23,00 | 25,55 |
| Sustrato Inerte | 23,67 | 35,00 | 24,33 | 27,66 |
| Promedio | 23,50 | 32,66 | 23,66 | |

WG: Waldman's Green WB: White Boston GR: Grand Rapids TBR

El número de hojas entre variedades de la lechuga bajo efecto de dos tipos de almacigo (Cuadro 18), donde la variedad White Boston obtuvo un mayor promedio en número de hojas con 32,66 hojas/planta seguido por la variedad Gran Rapids TBR con 23,66 hojas/planta y el que resultó con menor número de hojas/planta, fue la variedad Waldmann's Green con 23,50.

Para el factor tipos de almacigo, se obtuvo un promedio mayor con el almacigo de sustrato inerte con 27,66 hojas/planta y 25,55 hojas/planta para el almacigo de esponja corriente.

Para una mejor evaluación del número de hojas del cultivo de lechuga por efecto de tipos de almacigo y variedades, se realizó el análisis de varianza en el siguiente cuadro.

Cuadro 21. ANVA para el número de hojas del cultivo de lechuga.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Ft (0.05) |
|--------------------------|----|--------|--------|-------|------------|
| Bloques | 5 | 365,61 | 73,12 | 35,57 | 3,106 ** |
| Factor tipos de almacigo | 1 | 20,06 | 20,06 | 9,76 | 4,747 ** |
| Factor variedades | 2 | 330,11 | 165,06 | 80,30 | 3,885 ** |
| Almácigos * variedades | 2 | 15,44 | 7,72 | 3,76 | 3,885 N.S. |
| Error | 12 | 24,67 | 2,06 | | |
| Total | 17 | 390,28 | | | |

*: Significativo al 5% **: Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

C.V. = 5,39%

El cuadro 19, muestra efecto altamente significativo para los bloques. El grado de significancia entre bloques nos muestra que existe la variación a favor de la solución nutritiva, lo que nos demuestra que el diseño fue bien aplicado.

Se han encontrado diferencias altamente significativas para el factor tipos de almacigo lo que significa que el número de hojas para las tres variedades son distintas en los dos tipos de almacigo. También tubo diferencias altamente significativas para el factor variedades esto se atribuye a las características morfológicas de los mismos.

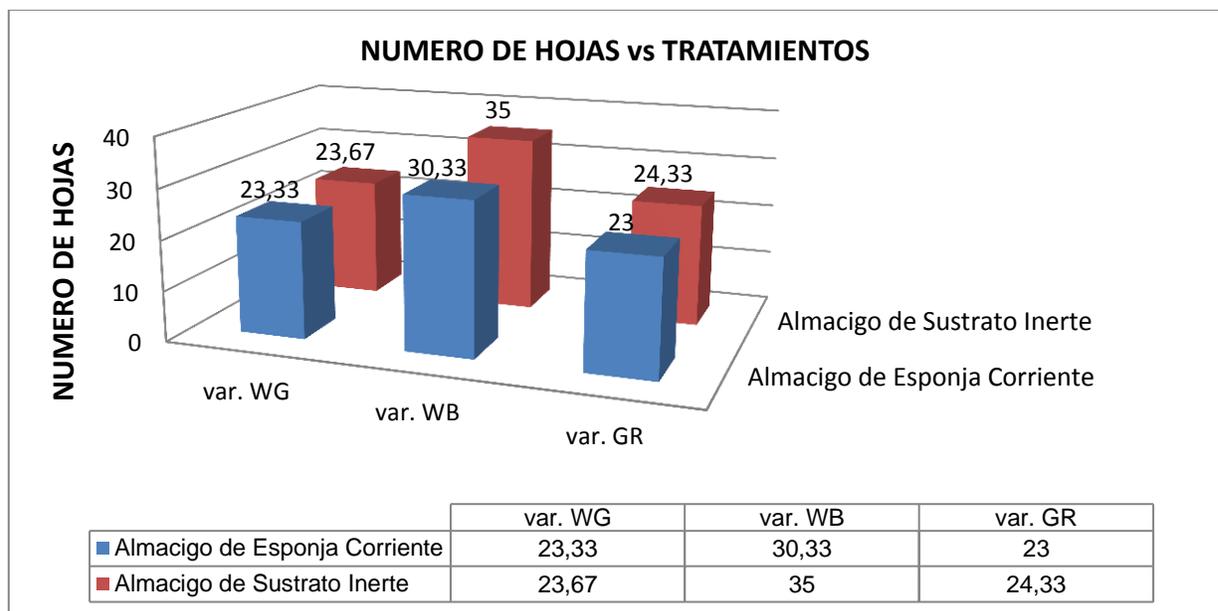
Para la interacción de tipos de almacigo por variedades no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación fue de 5,39% lo cual indica que está dentro del rango aceptable, en lo cual los datos fueron tomados cuidadosamente y son confiables para el análisis estadístico.

5.3.2.1. Comparación de medias para el número de hojas

En la figura 6, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 8. Numero de hojas del cultivo de lechuga por tratamientos.



De la figura anterior, se concluye que la variedad White Boston tuvo un mayor número de hojas con 35 hojas/planta seguido por la variedad Grand Rapids TBR que obtuvo 24,33 hojas/planta y con menor número de hojas la variedad Waldmann's Green con 23,67 hojas/planta.

El mejor tratamiento que obtuvo mayor número de hojas fue el tratamiento 5 (Variedad White Boston en almacigo de Sustrato Inerte), seguido por el tratamiento 6 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Sustrato Inerte). Esto se sospecha a que las variedades Waldmann's Green y Grand Rapids TBR se cosechan a los 90 días después de la siembra, donde alcanzan un mayor número de hojas. En la presente investigación se cosecho a los 70 días por que la variedad White Boston estaba comenzando a adquirir un sabor amargo por lo cual se procedió a la cosecha.

Se asevera que la orientación tanto de la carpa como de la pirámide, afecto de cierta manera en el crecimiento de hojas, por lo cual el fotoperiodo es necesario para la obtención de un número mayor de hojas por planta.

El porcentaje de semisombra que se utilizo fue de un 50% se estima que pudo afectar en el número de hojas por parte de las tres variedades en estudio.

Se pudo evidenciar que las plantas que crecieron en el almacigo de esponja presentaron elongación en el tallo, esto facilito la entrada de luz a la parte radicular de la planta como también a que se desmoronen de la pirámide hacia el suelo por lo que dificulto el manejo. Estos aspectos no sucedieron en las plantas que estuvieron en el almacigo de sustrato inerte que posteriormente fueron trasplantadas a las esponjas.

Se estima que pudo haber influenciado las variedades utilizadas en la presente investigación (Waldmann's Green, White Boston y Grand Rapids TBR), porque las características morfológicas son muy distintas en cuanto a forma y consistencia.

5.3.3. Volumen de raíz en el sistema NFT

El volumen radicular del cultivo de lechuga por efecto de tipos de almacigo y variedades, se resume en el (cuadro 21).

Cuadro 22. Volumen radicular entre variedades bajo efecto de dos tipos de almacigo.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (cc) | | | Promedio |
|--------------------------|----------------------------|-------|-------|----------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 28,96 | 31,72 | 29,20 | 29,96 |
| Sustrato Inerte | 29,69 | 32,46 | 29,81 | 30,65 |
| Promedio | 29,32 | 32,09 | 29,50 | |

WG: Waldmann's Green WB: White Boston GR: Grand Rapids TBR

Los promedios de la variable volumen de raíz de las variedades de lechuga bajo efecto de dos tipos de almacigo se definen en el (Cuadro 21), donde la variedad White Boston obtuvo un mayor promedio de volumen radicular con 32,09 cc seguido por la variedad Gran Rapids TBR con 29,50 cc y el que resultó con menor volumen radicular, fue la variedad Waldmann's Green con 29,32 cc.

Para el factor tipos de almacigo, se obtuvo un promedio mayor de volumen radicular con el almacigo de sustrato inerte con 30,65 cc y 29,96 cc para el almacigo de esponja corriente.

En conclusión (Cuadro 21) se puede decir que se obtuvo un mayor promedio de volumen radicular con la variedad White Boston y con el almacigo de Sustrato Inerte.

Para una mejor evaluación del volumen radicular del cultivo de lechuga por efecto de tipos de almacigo y variedades, se realizó el análisis de varianza esto se detalla en el siguiente (Cuadro22).

Cuadro 23. ANVA para el volumen radicular del cultivo de lechuga.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Ft |
|--------------------------|----|-------|-------|------|------------|
| Bloques | 5 | 30,91 | 6,18 | 3,58 | 3,106 * |
| Factor tipos de almacigo | 1 | 2,17 | 2,17 | 1,26 | 4,747 N.S. |
| Factor variedades | 2 | 28,72 | 14,36 | 8,31 | 3,885 ** |
| Almácigos * variedades | 2 | 0,02 | 0,01 | 4,7 | 3,885 * |
| Error | 12 | 20,74 | 1,73 | | |
| Total | 17 | 51,65 | | | |

* Significativo al 5% ** Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

C.V. = 4,34%

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza, donde se observa diferencias significativas en los bloques, esto se atribuye a que los bloques fueron aplicados adecuadamente y si hubo una diferencia significativa en cuanto a la solución nutritiva en cada bloque evaluado.

Con respecto al factor tipos de almacigo no fue significativo por lo cual el volumen radicular no depende, de los diferentes tipos de almácigos empleados en la presente investigación.

Al respecto del factor variedades tuvo un resultado de alta significancia, en conclusión nos quiere decir que las tres variedades tienen diferentes crecimientos de masa radicular por lo cual son dependientes de la variedad.

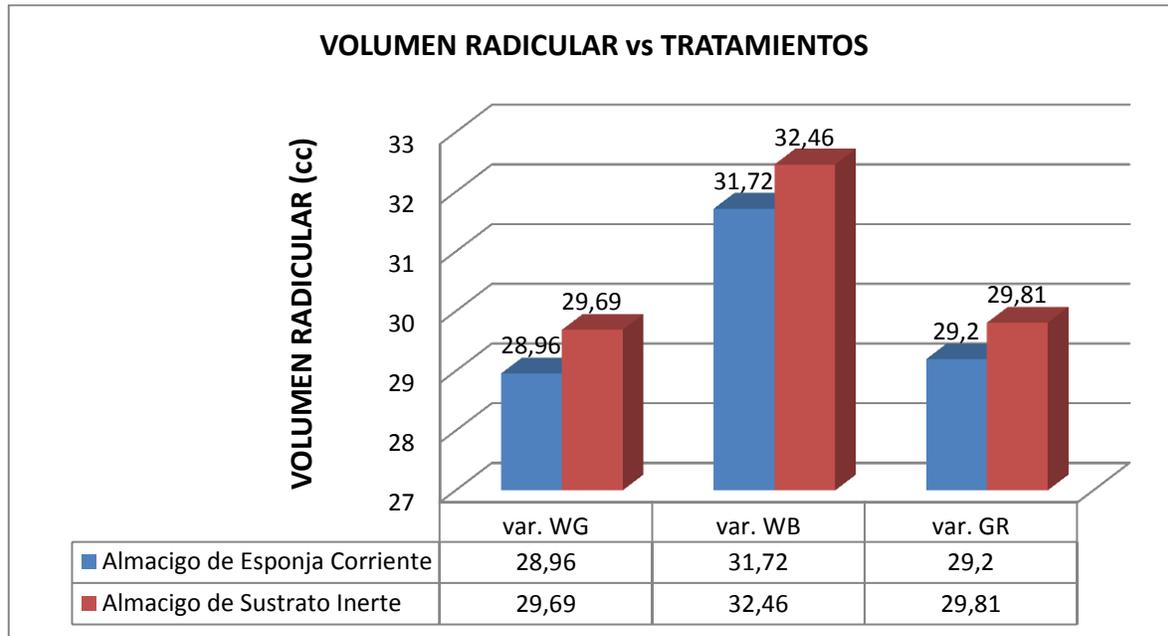
La interacción también presentó diferencias significativas, donde se manifiesta diferentes volúmenes radiculares con mínimas diferencias, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 4,34% nos indica la confianza de nuestra información por lo tanto existió un buen manejo de nuestras unidades experimentales.

5.3.3.1. Comparación de medias para el volumen radicular

En la figura 8, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 9. Volumen radicular del cultivo de lechuga por tratamientos.



De la figura 8, se concluye que la variedad White Boston tuvo un mayor volumen radicular con 32,46 cc, seguido por la variedad Grand Rapids TBR que obtuvo 29,81 cc y con menor volumen radicular la variedad Waldmann's Green con 29,69 cc.

Se pudo evidenciar que a mayor volumen radicular se dificulta la libre circulación de la solución nutritiva por el sistema hidropónico NFT, puesto que la solución circula a 2 litros por minuto. En el canal de cultivo de la variedad White Boston hubo mayor cantidad de rebaleses, esto por su gran volumen radicular, ocasionado la caída de las lechugas o volteos de lado.

El mejor tratamiento que obtuvo menor volumen radicular fue el tratamiento 1 (Variedad Waldmann's Green en almacigo de Esponja Corriente), seguido por el tratamiento 3 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Esponja Corriente) y por último el tratamiento con mayor volumen radicular fue el tratamiento 5 (Variedad White Boston en almacigo de Sustrato Inerte)

Esto se sospecha a que las raíces de la variedad White Boston se desarrollaron gruesas y se agruparon formando una masa radicular compacta y dura en pequeños espacios en cambio las variedades Waldmann's Green y Grand Rapids TBR tenían las raíces más sueltas y sencillas de manipular, que se sujetaron un con otra facilitando así a que las plantas no pudieran caer del canal de cultivo por lo cual se puede atribuir esta diferencias del sistema radicular a las distintas variedades utilizadas en la presente investigación.

Se especula que a mayor número de hojas mayor volumen radicular esto comparando con los datos obtenidos de la variable número de hojas y la variable del volumen radicular.

5.3.4. Rendimiento en peso fresco en el sistema NFT

El rendimiento por planta del cultivo de la lechuga por efecto del tipos de almacigo y variedades, se observa en el (cuadro 23).

Cuadro 24. Peso fresco por planta entre variedades bajo efecto de tipos de almacigo.

| Almacigo | Variedades de Lechuga (gr) | | | Promedio (gr) |
|--------------------------|----------------------------|---------|---------|---------------|
| | WG | WB | GR | |
| Esponja Corriente | 146,458 | 157,983 | 150,558 | 151,666 |
| Sustrato Inerte | 154,250 | 174,608 | 158,525 | 162,461 |
| Promedio (gr) | 150,354 | 166,296 | 154,541 | |

WG: Waldman's Green

WB: White Boston

GRT: Grand Rapids TBR

En el peso fresco (cuadro 23) se observan variaciones de promedio, donde la variedad que obtuvo mayor promedio de peso fresco fue White Boston con 166,296 gramos/planta seguido por la variedad Grand Rapids TBR con 154,541 gramos/planta y por último la variedad Waldmann's Green el cual obtuvo 150,354 gramos/planta en promedio de peso fresco.

Para los promedios de dos tipos de almacigo, se obtuvo un mayor promedio en peso fresco con el almacigo de Sustrato Inerte (40% de arena fina de rio, 40% de turba y

20% de aserrín no descompuesto), con 162,461 gramos/planta y el almacigo de Esponja Corriente con 151,666 gramos/planta.

En conclusión (cuadro 23) se puede afirmar que la variedad con mayor rendimiento en peso fresco es la variedad White Boston y el almacigo que presento elevado rendimiento en peso fresco es el almacigo de Sustrato Inerte esto en relación a los promedios de las tres variedades de lechuga.

Para una mejor evaluación del peso de materia verde por planta entre variedades por efecto de tipos de almacigo, se realizó el análisis de varianza (cuadro 24).

Cuadro 25. ANVA para el peso fresco por planta del cultivo de lechuga.

| FV | GL | SC | CM | Fc | Ft |
|--------------------------|----|---------|--------|-------|------------|
| Bloques | 5 | 1420,52 | 284,10 | 11,82 | 3,106 * |
| Factor tipos de almacigo | 1 | 524,34 | 524,34 | 21,81 | 4,747 * |
| Factor variedades | 2 | 819,66 | 409,83 | 17,05 | 3,885 * |
| Almacigos * variedades | 2 | 76,51 | 38,26 | 1,59 | 3,885 N.S. |
| Error | 12 | 288,51 | 24,04 | | |
| Total | 17 | 1709,02 | | | |

*: Significativo al 0.5%

**: Altamente significativo al 1%

N.S.: No significativo

$$C.V. = 3,12\%$$

El análisis de varianza al 5% de probabilidad, nos muestra que existe diferencias estadísticas altamente significativas, entre bloques, esto indica que la solución nutritiva tubo efecto directo en la variable peso fresco (rendimiento), estadísticamente esto muestra que se tuvo buena precisión en el diseño.

Por otra parte se llegó a determinar que existen diferencias altamente significativas para el factor tipos de almacigo (Almacigo de Esponja Corriente y Almacigo de Sustrato Inerte), lo que significa que el rendimiento en peso fresco es diferente en los dos tipos de almacigo.

El parámetro de peso fresco determina que el comportamiento de las variedades mostro diferencia significativa, lo que demuestra que las variedades se comportaron

a distinta forma, por lo cual esto se atribuye a las tres diferentes variedades utilizadas.

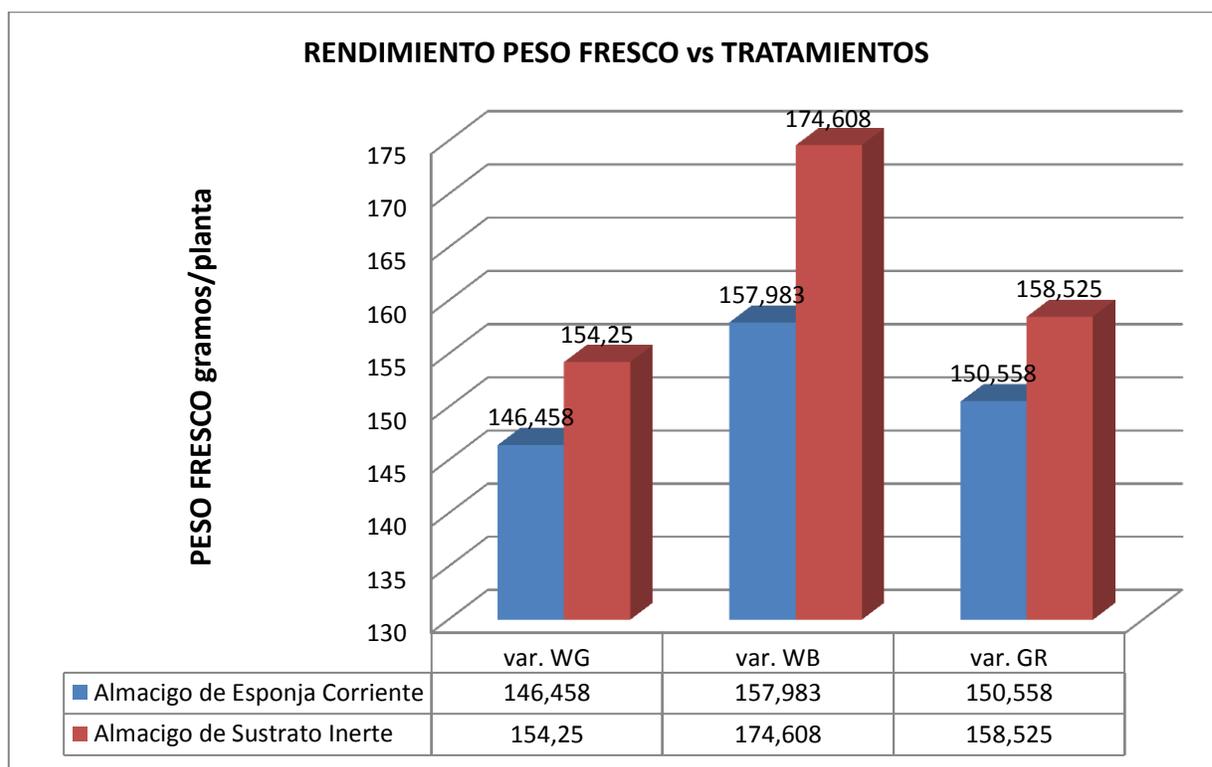
Para la interacción de tipos de almacigo por variedades no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 3,12% indicando, que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad; además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

5.3.4.1. Comparación de medias para el rendimiento peso fresco

En la figura 9, se comparan las medias de los tratamientos de las tres variedades con el factor tipos de almacigo.

Figura 9. Peso fresco por planta de lechuga por tratamientos.



En la figura 9, se observa, la comparación de medias de los tratamientos de la presente investigación donde el tratamiento con mayor rendimiento de peso fresco fue el tratamiento 5 (Variedad White Boston en almacigo de Sustrato Inerte) con

174,608 gramos/planta seguido por el tratamiento 6 (Variedad Grand Rapids TBR en almacigo de Sustrato Inerte) y el tratamiento con menor rendimiento de peso fresco es el tratamiento 1 (Variedad Waldmann's Green en almacigo de Esponja Corriente) con 146,458 gramos/planta.

Se atribuye a que se obtuvo mayor rendimiento en peso fresco a los tratamientos que obtuvieron un mayor número de hojas, esto se especula a las diferentes variedades utilizadas, por las diferencias morfológicas.

También se pudo evidenciar que las lechugas hidropónicas no alcanzaron un mayor peso por el delgado tallo que adquirieron a lo largo de su desarrollo. Se sospecha que el área foliar tuvo diferencias entre las variedades.

Los días a la cosecha para las tres variedades se especula que puede ser un factor muy importante en la obtención de un mayor rendimiento de peso fresco, donde la variedad White Boston se cosecha en menor tiempo a comparación de las variedades Waldmann's Green y Grand Rapids TBR que se pueden cosechar en más tiempo esto por el sabor amargo que adquiere la variedad White Boston.

5.3.5. Análisis económico parcial

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de la experimentación y el respectivo análisis estadístico, es esencial, la realización del análisis económico de los resultados, para realizar recomendaciones más adecuadas, combinados los aspectos agronómicos y económicos más favorables de la investigación.

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 del cultivo de lechuga producida.

5.3.5.1. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado de cada variedad en almácigos diferentes es el beneficio medio reducido en un cierto porcentaje, con el fin de reflejar la diferencia entre la

ventaja experimental con almácigo de esponja corriente y almacigo de sustrato inerte, en variedades de lechuga, en una producción comercial a pequeña escala que se podría lograr con ese tratamiento. Realizando el cálculo de lechugas hidropónicas por metro cuadrado (lechugas hidropónicas/m²), se tiene 33 plantas/m², entran en el sistema NFT. Estos datos se reflejan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Rendimiento ajustado por una campaña.

| RENDIMIENTOS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|---|---------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Rendimiento promedio (kg/m ²) | 3,807 | 4,107 | 3,914 | 4,010 | 4,539 | 4,121 |
| Rendimiento ajustado (-10%) | 3,426 | 3,696 | 3,522 | 3,609 | 4,085 | 3,708 |

En este caso se tomó la recomendación del manual 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 parcelas experimentales, lo que no ocurre normalmente en una producción a gran escala.

5.3.5.2. Número de campañas por año de las variedades

Tomando en cuenta que la utilización del terreno, para situar el sistema hidropónico NFT, para que la producción de lechugas en ambientes atemperados sea intensiva, la reducción del ciclo de producción, en el uso del mismo, puede reportar mayor número de cosechas al año, por lo tanto una mayor producción.

Otro factor determinante es el tiempo de desarrollo hasta la cosecha, en épocas de invierno retardan el crecimiento del cultivo. En el presente estudio tardó 70 días, con una diferencia muy grande, puesto que las plantas solo permanecieron 15 días en el área de germinación, 20 días en el área de crecimiento inicial o primario y 35 días en el área de crecimiento final. Esto nos lleva a calcular diez campañas por año.

Las variedades que dan alto rendimiento son: White Boston y Gran Rapids, en el presente estudio tuvo mejor comportamiento frente a otros, en época de verano. Se destaca también como el cultivo precoz.

5.3.5.3. Beneficio bruto

El beneficio bruto se calcula multiplicando el rendimiento ajustado en 1.000 m² del ambiente atemperado, por el precio promedio de kilogramo de lechuga hidropónica, para el cálculo de beneficio bruto anual se multiplicó el beneficio bruto de una campaña, por el número de campañas al año.

Cuadro 27. Beneficio bruto anual.

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|---|---------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Rendimiento prom. (kg/m ²) | 3,807 | 4,107 | 3,914 | 4,010 | 4,539 | 4,121 |
| Rendimiento ajustado (-10%) | 3,426 | 3,696 | 3,522 | 3,609 | 4,085 | 3,708 |
| Precio (Bs/kg) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| BENEFICIO BRUTO (Bs/ m²) | 34,260 | 36,960 | 35,220 | 36,090 | 40,850 | 37,080 |
| NUMERO DE CAMPAÑAS AÑO | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO Bs/m² | 342,600 | 369,600 | 352,200 | 360,900 | 408,500 | 370,800 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO (19 m²) | 6509 | 7022 | 6692 | 6857 | 7762 | 7045 |

Según el cuadro 26, las variedades que presentaron mejores ingresos brutos por año en diferentes tipos de almacigo, son la variedad White Boston con 408,500 y 369,600 Bs/año/m², seguido de por la variedad Grand Rapids TBR con 370,800 y 352,200 Bs/año/m², finalmente la variedad Waldmann's Green con 360,900 y 342,600 Bs/año/m², a estos resultados se atribuye que cada variedad está basada a su propia constitución genética, como también a los tipos de almacigo por que a simple vista se define que el mejor almacigo es el de sustrato inerte.

5.3.5.4. Costos variables

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

Cuadro 28. Costos variables por variedades (Bs/año).

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|---|---------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Insumo | 155,78 | 156,50 | 156,50 | 156,67 | 156,85 | 156,85 |
| Mano de obra | 225 | 225 | 225 | 250 | 250 | 250 |
| Total costos campaña | 380,78 | 381,50 | 381,50 | 406,67 | 406,85 | 406,85 |
| Numero de campañas año | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Total costos variables (19 m ²) | 72,34 | 72,48 | 72,48 | 77,26 | 77,30 | 77,30 |
| Total costos variables/año | 723,49 | 724,85 | 724,85 | 772,67 | 773,02 | 773,02 |

Según los costos variables los tratamientos que corresponden al almacigo de sustrato inerte son los que presentan los costos más altos debido a que requiere mayor mano de obra al momento del trasplante inicial, puesto que tuvo que ser mano de obra calificada que no dañe las raíces al momento de colocarlas en la esponja corriente.

5.3.5.5. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos costos 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 la infraestructura, instalación de sistema hidropónico recirculante, bomba eléctrica, herramientas, temporizadores y otros gastos. Los costos fijos de la infraestructura del ambiente atemperado, instalación de sistema hidropónico NFT y bomba eléctrica, se han calculado por año.

Cuadro 29. Costos fijos por variedades (Bs/año).

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|------|------|----------------------|------|------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WMG | WB | GR | WMG | WB | GR |
| Costo carpa solar año | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 |
| Costo del sistema hidropónico. | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 |
| Mochila fumigadora. | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |
| Herramientas | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Otros gastos (E:E) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| TOTAL COSTOS FIJOS | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 |

En el análisis económico de costos parciales se consideró el cálculo de beneficio neto y la tasa de retorno marginal, sobre la base de los rendimientos y costos obtenidos por tratamiento.

5.3.5.6. Costos totales

Son las sumas de los costos de producción o variables y los costos fijos. A continuación presentamos el (cuadro 28) de los costos totales.

Cuadro 30. Costos totales por variedades.

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|------------------------|---------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Total costos variables | 723,49 | 724,85 | 724,85 | 772,67 | 773,02 | 773,02 |
| Total costos fijos | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 |
| TOTAL COSTOS | 1502,49 | 1503,85 | 1503,85 | 1551,67 | 1552,02 | 1552,02 |

En el (cuadro 30) se observa claramente que los costos de los tratamientos que estuvieron en etapa inicial en almácigos de sustrato inerte son los que presentan los valores más altos. Esto se debió a que las plantas que estuvieron en almacigo de esponja corriente presentaron elongación en los tallos perjudicando así su desarrollo.

5.3.5.7. Beneficio neto

Los beneficios netos nos reflejan ingresos obtenidos luego de restar los costos totales. A continuación en el cuadro 31, se detallan los beneficios netos anuales.

Cuadro 31. Beneficios netos anuales.

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|-------------------------|---------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Beneficio bruto | 6509 | 7022 | 6692 | 6857 | 7762 | 7045 |
| Total costos | 1502.49 | 1503.85 | 1503,85 | 1151,67 | 1552,02 | 1552,02 |
| BENEFICIOS NETOS | 5006.51 | 5518.15 | 5188,15 | 5305,33 | 6209,98 | 5492,98 |

Realizando un análisis entre los dos tipos de almacigo dentro de una variedad podemos indicar los siguientes resultados. El caso de variedad White Boston en almacigo de sustrato inerte el beneficio neto es de 6209,98 Bs/año fue el que

presenta mayor beneficio neto, la variedad Waldmann's Green en almacigo de esponja corriente presenta un valor de 5006,51 Bs/año el cual se encuentra con menor número de beneficio neto. En el (cuadro 30), se justifica el uso de almácigos de sustrato inerte en variedades White Boston y Gran Rapids TBR ya que presentan mayor beneficio neto frente a los otros tratamientos.

5.3.5.8. 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 32. Beneficio costo anual

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|------------------------|---------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | Almacigo de Esponja | | | Almacigo de Sustrato | | |
| | WG | WB | GR | WG | WB | GR |
| Beneficio neto | 5006,51 | 5518,15 | 5188,15 | 5305,33 | 6209,98 | 5492,98 |
| Total costos | 1502,49 | 1503,85 | 1503,85 | 1551,67 | 1552,02 | 1552,02 |
| BENEFICIO COSTO | 3,33 | 3,67 | 3,45 | 3,42 | 4,00 | 3,54 |

Realizado el análisis de relación de beneficio/costo, en base a los costos fijos y variables de producción por año y por tratamientos.

Dicho análisis demuestra que; la relación Beneficio/costo es mayor que uno para todos los tratamientos ($B/C > 1$), en consecuencia estos son económicamente rentables; sin embargo con el uso de almácigos de sustrato inerte se obtiene un beneficio casi similar en comparación a el uso de almácigos de esponja corriente. Cabe destacar que el trabajo se realizó en pleno época de verano.

Los valores obtenidos son mayor a 1, por lo que hace al sistema hidropónico NFT, uno de los más rentables con relación a otros sistemas de producción, esto porque se aprovechó un mayor espacio del invernadero como también conto con áreas de almacigo, crecimiento inicial y final aminorando así el ciclo productivo a 35 días.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos específicos los resultados obtenidos de las variables de respuesta en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones.

- ❖ Con respecto a los almácigos, para el primer trasplante es mejor utilizar el almacigo de sustrato inerte, por lo que no provoca elongación en las plantas en cambio el almacigo de esponja corriente provoca dicha elongación.
- ❖ En cuanto al porcentaje de germinación las variedades White Boston y Grand Rapids TBR, tuvieron una germinación de 93,57% y 94,85% en almacigo de sustrato inerte, esto se debe a que las semillas no estuvieron expuestas a la luz y tuvieron el tiempo necesario para poder germinar.
- ❖ El largo de raíz, más prolongado fue el de la variedad Waldmann's Green con 13,75 cm seguido de la variedad Grand Rapids TBR con 12,99 cm en almacigo de sustrato inerte, esto se debe a que las raíces pudieron moverse con mayor facilidad en el sustrato no así en la esponja corriente. Esta variable es de mucha importancia ya que el largo de raíz determina los días al trasplante.
- ❖ Para el número de hojas, la variedad White Boston obtuvo un valor de 35 hojas/planta, seguido de la variedad Grand Rapids TBR con 24,33 hojas/planta y con menor número de hojas la variedad Waldmann's Green con 23,67 hojas/planta. Las hojas de White Boston tiene menor tamaño en relación las hojas de las variedades Grand Rapids TBR y Waldmann's Green.
- ❖ Un mayor volumen radicular dificulta la libre circulación de la solución nutritiva por los canales de cultivo, este valor fue mayor en la variedad White Boston con 32,46 cc en almacigo de esponja corriente y en almacigo de sustrato inerte con 31,72 cc, las dos variedades con menor volumen son Grand Rapids TBR con 29,81 cc y Waldmann' Green con 29,69 cc.
- ❖ Con relación al rendimiento en peso fresco obtuvo un mayor promedio la variedad White Boston con 174,608 gramos/planta seguido por Grand Rapids TBR con 158,525 gramos/planta y Waldmann's Green con 154,250 gramos/planta en almacigo de sustrato inerte.

- ❖ La variedad White Boston tiene un beneficio costo de 4 Bs, seguido de la variedad Grand Rapids TBR con 3,54 Bs y 3,42 Bs para la variedad Waldmann's' Green.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos; en el presente trabajo de investigación se hacen las siguientes recomendaciones:

- Es necesario realizar pruebas, sembrando la semilla de lechuga, en esponja agrícola, porque es más poroso y se degrada con facilidad.
- Otros sustratos tanto de origen vegetal como mineral, también pueden ser utilizados en almacigueras de lechuga hidropónica, siempre y cuando estén esterilizados.
- El diámetro del tallo, es una de las variables, que no se midió, en la presente investigación, por lo cual es necesario realizar experimentos, tomando datos de esta variable tan importante, ya que se observó un tallo muy delgado a comparación de los tallos que crecen el suelo.
- Actualmente en otros países, se realiza el segundo transplante de la lechuga, en las boquillas de botellas pett, utilizando esponja agrícola a la hora de la siembra, por lo cual se debe efectuar ensayos recurriendo a estos materiales.
- El manejo de las densidades, en la pirámide del sistema hidropónico NFT, tanto entre plantas como entre canales de cultivo, son muy importantes, por tal razón, muchas empresas de producción hidropónica, utilizan bajas densidades de plantación, para la obtención de mejores rendimientos, esto significa que en este sistema, se puede utilizar menores densidades de plantación, por eso se tiene que experimentar diferentes densidades de plantación.
- Otras variedades de lechuga existentes en el mercado nacional podrían comportarse mejor en este sistema hidropónico de flujo laminar de nutrientes.

- Se podría utilizar la parte superficial de la pirámide de este sistema hidropónico, para almacigueras o también para un ciclo completa de plantas de sombra como flores, hortalizas, etc.
- Con el avance de la ciencia se ha visto en mercados exteriores, alguicidas hidropónicos, que pueden ser utilizados, para disminuir las pérdidas de nutrientes en la solución, porque se observó una mayor cantidad de estos en la fase final de la producción de la lechuga.
- Para el segundo transplante, ya en la pirámide de NFT, también se puede utilizar, vasos llenos con sustrato inerte, envés de esponja, así se podría disminuir la aparición de algas en la parte superior de la esponja. Esto tendría un coste inicial elevado pero se puede reutilizar tanto el vaso como el sustrato previa esterilización.
- Algunas lechugas empiezan a desarrollar más rápido que otras y se voltean para un costado, dejando a la intemperie a la raíz, y posterior muerte, se tendría que cosechar primeramente a estas.

8. BIBLIOGRAFIA

Almodovar, 1998. Enfermedades de los hidropónicos. Clínica de plantas, servicio de extensión agrícola. Consultado 12 de Septiembre del 2013. Disponible en: <http://www.clinicaaldia.net>

Alpizar, K., 2008. "Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación". Tesis M. Sc. Ciudad de Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. pp 74.

Alvarado, D.; Chávez, F.; Wilhelmina, K., 2001. Seminario Agronegocios, Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacifico, Facultad de Administración y Contabilidad. Consultado 17 de Enero del 2014. Disponible en: <http://www.upbusiness.net>

Añez y Tavira, 1981. Revista de la facultad de Agronomía, Mérida, Venezuela.

Baixauli, C.; Aguilar, J., 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana, Consejería de agricultura pesca y alimentación. Valencia, España: pp. 110.

Barrera, D., 2004. Evaluación de Cinco Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Cultivadas con la Técnica Hidropónica Solución Nutritiva Recirculante (NFT). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. Guatemala. pp. 71.

Barry, C., 1997. Hidroponía, Soluciones Nutritivas. Artículo Científico. Gromang. Vol. 1 numero 2.

Barrios, N., 2004. Evaluación del cultivo de lechuga, *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en Pachali, San Juan Sacatepeques, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. Guatemala. pp. 64.

Barrientos, J., 1999. Evaluación de dos variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo tres niveles de Suka-hidroponia en invernadero provincia Ingavi. La Paz, Bolivia: pp 77.

- Borrego J. V., 1998. Historia de la Agronomía, Ed. Mundi Prensa S.A. Madrid
- Bautista, M., 2000. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascara de arroz. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala: pp 71.
- Bugarín M., R, G.A. Baca C., J. Martínez H., J.L. Tirado T., y A. Martínez G. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. Terra: pp. 124.
- Cáceres, E., 1971. Producción de Hortalizas en Invernadero. México. Hermanos Herrero S.A. pp. 160.
- Calo, P., 2011. Introducción a la Acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola-CENADAC.
- Calagrosso, A., 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuaponicos a pequeña escala. pp 65.
- Carrasco, G.; Izquierdo, J., 1996. Manuel Técnico. La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: Sistema hidropónico recirculante. La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT). Talca. pp. 62.
- Carrasco, G., P. Ramírez y H. Vogel. 2007. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. IDESIA: pp. 62.
- Casaca, A., 2005. Cultivo de Lechuga. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Proyecto Modernización de los Servicios de Tecnología Agrícola PROMOSTA. Costa Rica: pp. 22.
- Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral - Universidad Nacional Agraria la Molina, 1996. Taller Internacional de Hidroponía. Hidroponía una Esperanza para Latinoamérica. Lima, Perú: Rodríguez. pp. 393.
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos. USDA 2008. Hidrohortalizas. Consultado 17 de Enero del 2014. Disponible en: <http://www.hidrohortalizas.com.ar>

Estrada, J., 2009. Microhuertas, fuentes de nutrición y recursos económicos. Evaluación final del proyecto “Microhuertas Populares” de Asociación CUNA. La Paz, Bolivia. (Diapositivas). 49 diapositivas, son. + 1 Flash Memory de 4G. (30 minutos), color.

Gallegos, C.D. 2012. Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva en la producción de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Tesis de grado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Garzón, S., 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. Tegucigalpa, Honduras: Zamorano. pp. 25.

Gilsanz, J., 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay: Unidad de Comunicación - Transferencia Tecnológica. pp. 31.

Guzmán, G., 2004. Hidroponía en Casa, una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional. Costa Rica: pp. 25.

Granval, N.; Gaviola, J., s.f. Cultivo de Lechuga. Manual de Producción de Semillas Hortícolas. pp. 23.

Hidalgo, C.; García, R., 2009. Comparativo de tres variedades de *Lactuca sativa* (L.) “lechuga” en condiciones hidropónicas. Tumbes, Perú: Comité Editorial-FCA. pp. 27.

Holsouet, P.; Miñambres, M., 2005. La Lechuga. Manual Para su Cultivo en Agricultura Ecológica.

Huterwal, G., 1991. Hidroponía, Cultivo de Plantas Sin Tierra. Buenos Aires, Argentina. pp. 234.

JICA, 1998. Universidad de Osaka. Curso de Horticultura. Osaka, Japón.

Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra: pp. 229.

Lizarro, W., 2009. Botánica Sistemática para Prácticas de Laboratorio y Campo. La Paz, Bolivia: Autapo. pp. 5.

Marulanda, C., 2003. Hidroponía familiar, Cultivo Esperanzas con Rendimientos de Paz. Universidad la Gran Colombia Seccional Armenia. Armenia, Colombia: pp 173.

Murillo, W., 2010. Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “La Huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Bolivia: pp. 105.

Ninancuro, E., 2007. Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema recirculante. Atlántica de Costa Rica. Universidad EARTH. pp. 39.

Ochoa, R., 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia: Vázquez. pp. 155-176.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Universidad de Talca. Chile. pp. 61.

Penningsfeld, F.; Kursmann, P., 1993. Cultivos Hidropónicos y en Turba. Traducido por Caffarena. Madrid, España.

Perrin, R.; Anderson, J., 1988. Formulación de Recomendaciones a Partir de Datos Agronómicos. Publicado por CIMMYT. Programa de Economía. México. pp. 92.

Ramos, M., 2010. Evaluación de Tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.), en el Sistema Hidropónico NFT bajo Invernadero en la Granja Santa Inés. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Resh, H., 1997. Cultivos Hidropónicos, Nuevas Técnicas de Producción. Barcelona, España: Mundi – Prensa. pp. 509.

Rodríguez A., Hoyos M., Chang., 2002. Manual práctico de hidroponía. Tercera edición. Centro de Investigación de Hidroponía Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.

Sanz, J.; Uribarri, A.; Sadaba, S.; Aguado, G.; Del Castillo, J., 2008. Cultivo Hidropónico de Lechuga. Consultado 19 de Enero del 2014. Disponible en: <http://www.viverista.com>

Sánchez, F; Escalante, E., 1988. Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. Tercera edición. México, Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 193.

Sánchez, C., s.f. Cultivo y Comercialización de Hortalizas. Guayaquil, Ecuador: Centenario. pp. 134.

Sepulveda, P., 2004. Fitosanidad en hortalizas para la Zona Sur. Universidad Católica de Chile. pp. 46.

Siacara, J., 2014. Evaluación del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema NFT (Técnica de la Película de Nutriente) bajo invernadero en la comunidad Quentavi Municipio de Laja de departamento de La Paz. Bolivia: pp. 95.

Soto, F.; Ramírez, M. 2002. Hidroponía, Centro Nacional Especializado Granja Modelo, Instituto Nacional de Aprendizaje. San José, Costa Rica: pp. 109.

Tapia, M., 2009. Sistemas de Cultivo sin Suelo: Hidropónicos (Diapositivas). 29 diapositivas, son. + 1 Flash Memory de 4G. (15 minutos), color.

Tarigo, A.; Repetto, C.; Acosta, D., 2004. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*lactuca sativa* L.) a campo. Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay: pp. 169.

Urey, G., 2007. Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), en el sistema hidropónico recirculante "NFT". Universidad Mayor de San Simón, Facultad Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Dr. Martín Cardenas". Cochabamba, Bolivia: pp. 75

ANEXOS

Anexo 1. Hortalizas utilizadas en hidroponía.

| Cultivo | Días Después de Siembra (DDS) | | | Centímetros entre | | Producción por m ² |
|-----------|-------------------------------|------------|---------|-------------------|---------|-------------------------------|
| | Germinación | Trasplante | Cosecha | Surcos | Plantas | |
| Acelga | 7 a 14 | 30 a 35 | 70 a 75 | 15 a 20 | 15 a 20 | 25 unidad. |
| Albahaca | 5 a 8 | 25 a 30 | 60 | 20-30 | 20-30 | 3 a 4 kg |
| Apio | 8 a 15 | 50 a 55 | 60 a 75 | 17-20 | 17-20 | 35 unidad. |
| Brócoli | 3 a 8 | 22 a 25 | 85 | 25-30 | 25-30 | N.D. |
| Cebolla | 6 a 10 | 40 a 45 | 65 a 70 | 10-15 | 10-15 | 6 a 8 kg |
| Cebollino | 6 a 12 | 40 a 45 | 60 a 65 | 10-15 | 10-15 | 15 rollos/mes |
| Coliflor | 3 a 8 | 22 a 25 | 90 | 25-30 | 25-30 | N.D. |
| Culantro | 10 a 15 | | 50 a 55 | a chorro | 15-20 | 25 rollos |
| Chile | 4 a 12 | 35 | 80 a 85 | 30-50- | 100-120 | 15-20/plant |
| Lechuga | 3 a 5 | 22 a 25 | 35 a 45 | 25 | 25 | 20-25 unid |
| Pepino | 3 a 5 | 12 a 14 | 45 a 50 | 100-120 | 25-30 | N.D. |
| Perejil | 10 a 18 | 40 a 45 | 50 a 55 | 5-10 | 10-15 | 15 rollos |
| Puerro | 6 a 12 | 40 a 45 | 60 a 65 | 10-12 | 12-15 | 15 rollos/mes |
| Rábano | 3 a 5 | | 35 a 45 | 15-20 | 5 | 20 rollos |
| Remolacha | 6 a 10 | 30 a 35 | 60 a 65 | 10-15 | 10-12 | 30 unidades |
| Repollo | 3 a 8 | 22 a 25 | 60 a 65 | 25-30 | 25-30 | 10-12 kg |
| Tomate | 4 a 12 | 25 a 28 | 80 a 85 | 40-60 | 120-140 | 5 a 8 kg/planta |
| Vainica | 3 a 6 | | 45 a 50 | 20-25 | 20-25 | 4-5 kg |
| Zanahoria | 7 a 15 | | 90 a 95 | A chorro | 15-20 | N.D. |
| Zuchini | 3 a 5 | 12 a 14 | 45 a 50 | 40-50 | 50-60 | N.D. |

Fuente: Soto (2002).

Anexo 2. Composición química del fertilizante Plant-Prod

| Componente | Porcentaje de pureza |
|--|----------------------|
| Nitrógeno total (H) | 15% |
| Ácido fosfórico asimilable (P ₂ O ₅) | 15% |
| Potásico soluble (K ₂ O). | 30% |
| Boro (B) | 0.02% |
| Cobre quelatado (CU) | .0.05% |
| Hierro quelatado (FE) | 0.10% |
| Manganeso quelatado (Mn) | 0.05% |
| Molibdeno (Real) (Mn) | 0.0005% |
| Zingquelatado (Zn) | 0.05% |
| EDTA (tetra acetato) de la dinamita del etilenoQuelatante. | el 1% del agente |

Anexo 3. Presupuesto del sistema hidropónico recirculante "NFT"

| DESCRIPCION | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (Bs) | TOTAL (Bs) |
|---|------------------|----------|----------------------|-------------|
| Madera para los triángulos. | Pie ² | 78 | 7 | 546 |
| Madera para la sujeción de la pirámide. | Pie ² | 9 | 7 | 63 |
| Tubos de canal de cultivo de 3" de diámetro. | Piezas | 13 | 54 | 702 |
| Tubos de desagüe de 2" de diámetro. | Piezas | 2 | 70 | 140 |
| Tapas de tubos de 3" de diámetro. | Piezas | 6 | 3 | 18 |
| Polytubo de ½" de diámetro. | Metros | 12 | 1,10 | 13.2 |
| Codos de 2" de diámetro. | Piezas | 3 | 4 | 12 |
| Reductor de 1" a ½" de diámetro. | Piezas | 1 | 3,5 | 3,5 |
| Codos de 1" de diámetro. | Piezas | 4 | 3 | 12 |
| Cruz de 1" de diámetro. | Piezas | 1 | 9 | 9 |
| Llaves con unión universal de 1" de diámetro. | Piezas | 2 | 50 | 100 |
| Tapón hembra de ½" de diámetro. | Piezas | 1 | 2 | 2 |
| Micro tubo de 6 mm de diámetro. | Metros | 10 | 2,5 | 25 |
| Cinta aislante. | Piezas | 2 | 2,5 | 5 |
| Cinta teflón de ¾. | Piezas | 8 | 3,5 | 28 |
| Acoples de micro tubo. | Piezas | 6 | 2,5 | 15 |
| Pegamento PVC. | Piezas | 1 | 12 | 12 |
| Tanque de agua de 300 litros. | Pieza | 1 | 280 | 280 |
| Remaches de 3.5 mm. | Piezas | 120 | 0,25 | 30 |
| Tubo de electricidad de 1" de diámetro. | Metros | 4 | 4 | 16 |
| Bomba de agua de 0.5 HP de potencia. | Pieza | 1 | 310 | 310 |
| Chupador de 1" de diámetro. | Pieza | 1 | 45 | 45 |
| Clavos de 2". | Kilos | 2 | 12 | 24 |
| Tornillos de 1". | Kilo | ½ | 12 | 6 |
| Sujetadores de metal. | Piezas | 96 | 1.5 | 144 |
| Pintura látex. | Litros | 3 | 12 | 36 |
| Trabajador. | Jornal | 3 | 70 | 210 |
| Temporizador de 24 tiempos | Pieza | 1 | 180 | 180 |
| Interruptor. | Pieza | 1 | 70 | 70 |
| Cable número 14. | Metros | 10 | 5 | 50 |
| TOTAL | | | | 3157 |

Anexo 4. Presupuesto para la piscina contenedor (Área de crecimiento inicial).

| DESCRIPCION | Unidad | Cantida | Precio Unitario | TOTAL (Bs) |
|---------------------------------------|--------|---------|-----------------|------------|
| Spiling (bandejas de germinación). | Piezas | 6 | 10 | 60 |
| Tubos PVC corriente de 2"pulgadas. | Barra | 1 | 70 | 70 |
| Clavos de ½ pulgada. | Kilo | 1 | 12 | 12 |
| Madera tableada de 1" x 0.15 metros x | Metros | 12 | 4,5 | 54 |
| Agrofilm de 250 micras. | Metros | 2 | 45 | 90 |
| Manguera de goma. | Piezas | 1 | 2,5 | 2,5 |
| Polytubo de ½ pulgada. | Metros | 4 | 1,10 | 4,40 |
| Tapón hembra de ½" de diámetro. | Pieza | 1 | 3 | 3 |
| Trabajador. | Jornal | 1 | 35 | 35 |
| TOTAL | | | | 331 |

Anexo 5. Presupuesto para el módulo de germinación (almacigo de esponja corriente).

| DESCRIPCION | Unidad | Cantida | Precio Unitario | TOTAL (Bs) |
|---------------------|--------|---------|-----------------|------------|
| Estiletes. | Piezas | 2 | 3 | 6 |
| Espuma sintética. | Hoja | ½ | 80 | 40 |
| Plastoform de 2 cm. | Hoja | 4 | 4 | 16 |
| Vinagre. | Litro | 1 | 8 | 8 |
| Trabajador. | Jornal | 1/3 | 70 | 23 |
| TOTAL | | | | 93 |

Anexo 6. Presupuesto para el módulo de germinación (almacigo sustrato inerte).

| DESCRIPCION | Unidad | Cantida | Precio Unitario | TOTAL (Bs) |
|---|--------|---------|-----------------|------------|
| Clavos de ½ pulgada. | Kilo | ½ | 12 | 6 |
| Madera tableada de 1" * 0.15 metros * 4 | Metros | 4 | 4,5 | 18 |
| Agrofilm de 250 micras. | Metros | 1 | 45 | 45 |
| Atomizador. | Pieza | 1 | 6 | 6 |
| Trabajador. | Jornal | 1/3 | 70 | 23 |
| TOTAL | | | | 98 |

Anexo 7. Presupuesto para la construcción de un invernadero para hidroponía.

| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio Unitario (Bs) | Total (Bs) |
|--|--------|----------|----------------------|-------------|
| Callapos laterales verticales 4 metros | piezas | 10 | 30 | 300 |
| Callapos para el techo de 2.7 metros | piezas | 5 | 10 | 50 |
| Clavos de 3" | kilos | 3 | 12 | 36 |
| Clavos de 1" | kilos | 1 | 12 | 12 |
| Semisombra de 50% | Metros | 8 | 24 | 192 |
| Agrofilm | Metros | 20 | 46 | 920 |
| Cinta de agrofil | Metros | 50 | 1.10 | 55 |
| Trabajador | jornal | 1 | 70 | 70 |
| Total | | | | 1635 |

Anexo 8. Calculo de la Depreciación.

| Nombre de los recursos | Precio al que adquirió | Cantidad | Precio total (Bs) | Años de vida útil | Depreciación anual (Bs) |
|--|------------------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| a) Invernadero. | 1635 | 1 | 1635 | 5 | 357 |
| b) Sistema hidropónico NFT | 3157 | 1 | 3157 | 11 | 287 |
| c) Mochila aspensor | 420 | 1 | 420 | 6 | 70 |
| d) Herramientas | 175 | varios | 175 | 5 | 35 |
| e) Otros | 150 | | 150 | 5 | 30 |
| TOTAL DEPRECIACION ANUAL | | | | | 779 |
| DEPRECIACION MENSUAL | | | | | 65 |
| DEPRECIACION POR CICLO PRODUCTIVO DE LECHUGA H. | | | | | 78 |

Anexo 9. Análisis económico para un año (10 campañas)

| | TRATAMIENTOS | | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Rendimiento promedio (kg/m) | 3,807 | 4,107 | 3,914 | 4,010 | 4,539 | 4,121 |
| Rendimiento ajustado (-10%) | 3,426 | 3,696 | 3,522 | 3,609 | 4,085 | 3,708 |

BENEFICIO BRUTO (Bs/m²)

| | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Rendimiento promedio (kg/ m ²) | 3,807 | 4,107 | 3,914 | 4,010 | 4,569 | 4,121 |
| Rendimiento ajustado (-10%) | 3,426 | 3,696 | 3,522 | 3,609 | 4,085 | 3,708 |
| Precio (Bs/kg) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| BENEFICIO BRUTO (Bs/m²) | 34,260 | 36,960 | 35,220 | 36,090 | 40,850 | 37,080 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO | 342,600 | 369,600 | 352,200 | 360,900 | 408,500 | 370,800 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO EN 19 m² | 6.509 | 7.022 | 6.692 | 6.857 | 7.762 | 7.045 |

COSTOS VARIABLES (100 m²)

1. INSUMOS

| Insumos necesarios | | | | | | |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Semilla/planta | 1,785 | 2,500 | 2,500 | 2,670 | 2,857 | 2,857 |
| Fertilizantes | | | | | | |
| Nitrato de Calcio | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Nitrato de Potasio | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Nitrato de Amonio | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| PlantProdCanada | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Quelatos de Hierro | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Sulfato de Magnesio | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Pesticidas | | | | | | |
| Lorsban Plus | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Taspa | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| SUB-TOTAL INSUMOS | 155,785 | 156,500 | 156,500 | 156,670 | 156,857 | 156,857 |

1, MANO DE OBRA

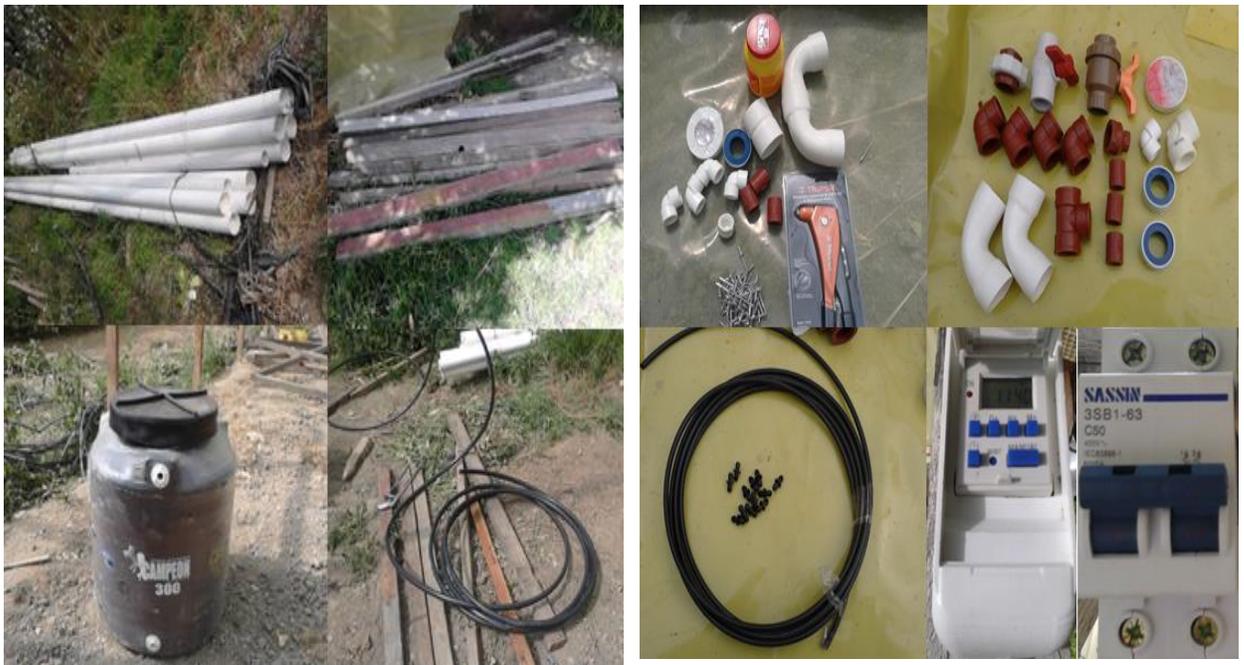
| Almacigado | | | | | | |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Siembra | 35 | 35 | 35 | 10 | 10 | 10 |
| Trasplanté 1 | | | | | | |
| Del Almacigo de esponja | 20 | 20 | 20 | | | |
| Del Almacigo de sustrato | | | | 70 | 70 | 70 |
| Riego | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Trasplanté 2 | | | | | | |
| A la pirámide NFT | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Aplicación de insecticidas | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Cosecha | | | | | | |
| Recolección | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Lavado de las raíces | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 100 |
| Embolsado | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| SUB-TOTAL MANO DE OBRA | 225 | 225 | 225 | 250 | 250 | 250 |

| | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| TOTAL COSTOS VARIABLES | 380,785 | 381,500 | 381,500 | 406,670 | 406,857 | 406,857 |
| TOTAL COSTOS VARIABLES EN 19 m² | 72,349 | 72,485 | 72,485 | 77,267 | 77,302 | 77,302 |
| TOTAL COSTOS VARIABLES AÑO | 723,490 | 724,850 | 724,850 | 772,670 | 773,020 | 773,020 |
| TOTAL COSTOS FIJOS AÑO | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 |
| TOTAL COSTOS | 1.502,490 | 1.503,850 | 1.503,850 | 1.551,670 | 1.552,020 | 1.552,020 |
| BENEFICIOS NETOS | 5.006,51 | 5.518,150 | 5.188,150 | 5.305,330 | 6.209,980 | 5.492,980 |

Anexo 10. Carpa donde se llevó a cabo la Investigación y el área donde se construyó las pirámides del sistema hidropónico recirculante NFT.



Anexo 11. Obtención de materiales para el armado de las pirámides, canales de cultivo y desagua del sistema hidropónico. Como también Compra de materiales para el sistema automatizado de NFT.



Anexo 12. Construcción de las pirámides de madera pino para posteriormente pintarlo con látex para evitar las rajaduras. Armado de los canales de cultivo Hechos con tubos de PVC, contados a la mitad transversalmente.



Anexo 13. Conexión del sistema de tuberías, bomba, desagua y forrado con plastofomo los canales de cultivo.



Anexo 14. Construcción de la almaciguera con sustrato inerte y mesclado del mismo, para la presente investigación.



Anexo 15. Elaboración del almacigo de esponja, que es un material corriente con plastoformo.



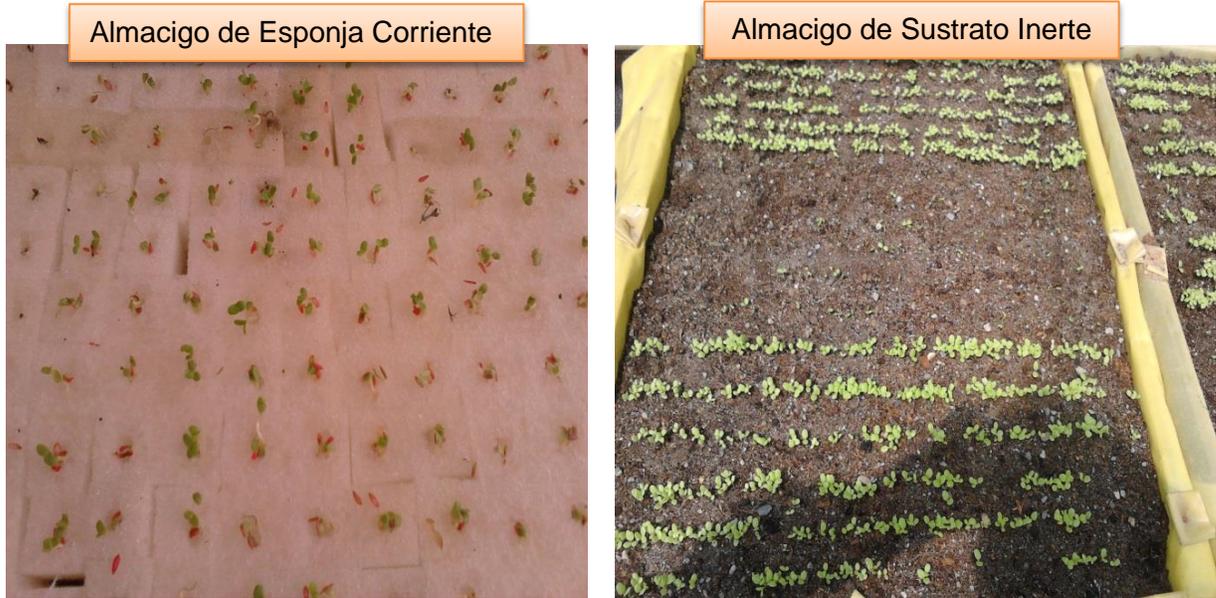
Anexo 16. Armado del área de crecimiento, el cual es un sistema recirculante.



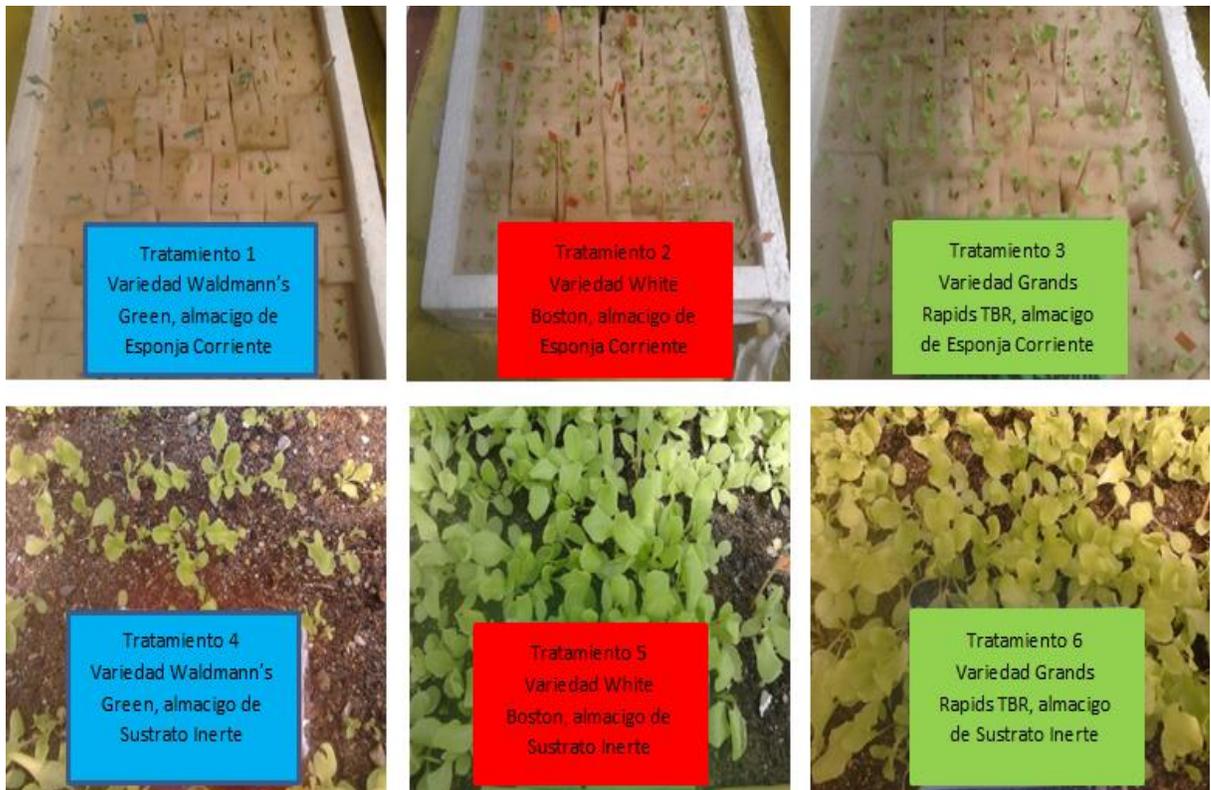
Anexo 17. Siembra en el almacigo de esponja y de sustrato inerte, las tres variedades de lechuga.



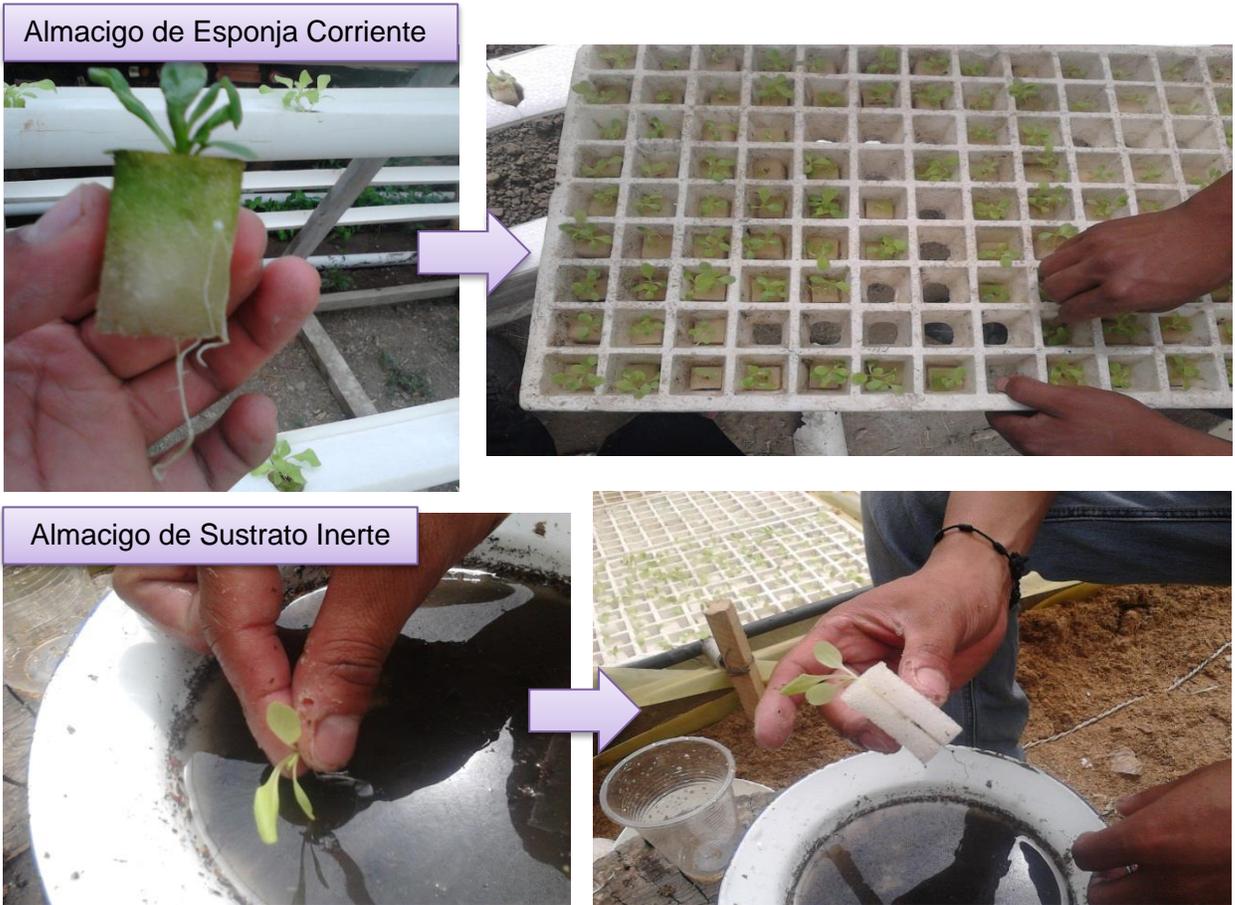
Anexo 18. Germinación de las tres variedades de lechuga en las dos diferentes tipos de almáciguera.



Anexo 19. Crecimiento de la lechuga en los dos diferentes tipos de almácigo.



Anexo 20. *Trasplante de las lechugas al área de crecimiento.*



Anexo 21. *Crecimiento del cultivo de lechuga en el sistema de raíz sumergida.*



Anexo 22. Segundo trasplante definitivo y crecimiento en los canales de cultivo de la pirámide del sistema NFT.



Anexo 23. Crecimiento a los 70 días después de la siembra.



Variedad de lechuga
White Boston



Variedad de lechuga
Waldmann's Green



Variedad de lechuga
Grand Rapids TBR



Anexo 24. Cosecha de las tres variedades de lechuga hidropónica y posterior embolsado.

