

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



RESPUESTA DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)
PRODUCIDAS EN UN SISTEMA AEROPÓNICO BAJO LAS CONDICIONES
CLIMATICAS DE LA CAMPIÑA DE AREQUIPA. 2012

Tesis presentada por los Bachilleres:

Luis Fernando Manrique Granda
Alexander Ernesto Roldan Allasi

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO AGRÓNOMO

AREQUIPA - PERÚ

2013

INDICE

	Pág.
TITULO	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
TABLA DE CONTENIDO	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. EL CULTIVO DE LECHUGA	5
2.1.1. Descripción botánica	5
2.1.2. Origen y taxonomía	5
2.1.3. Características botánicas de la planta	6
2.1.4. Fisiología del crecimiento	7
2.1.5. Clasificación	8
2.1.6. Cultivo de lechuga en hidroponía	8
2.2 HIDROPONIA	9
2.2.1. Definición	9
2.2.2. Pasado de la Hidroponía	10
2.2.3. Presente de la Hidroponía	16
2.2.4. La hidroponía en el Perú	16
2.2.5. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo	18
2.2.6. Sistemas hidropónicos	19
2.2.7. Aeroponía	22
2.2.8. Aspectos constructivos en módulos hidropónicos	23
2.2.7. La calidad del agua y la solución nutritiva	26
2.3. TRABAJOS DE INVESTIGACION REALIZADOS	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. Ubicación del experimento	38
3.2. Fecha de inicio y término	39

3.3. Historia del lugar experimental	39
3.4. Climatología	40
3.5. Recurso agua	41
3.6. MATERIALES EMPLEADOS Y METODOLOGIA SEGUIDA	41
3.6.1 Materiales	41
3.6.2. Metodología	43
3.7. COMPONENTES EN ESTUDIO	46
3.8. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO	47
3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL	47
3.10. CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES	48
3.11. CROQUIS DEL EXPERIMENTO	48
3.12. MODULO DEL SISTEMA AEROPÓNICO	48
3.12.1. Materiales empleados en los cajones	48
3.12.2. Construcción de los cajones	49
3.12.3. Distribución de cajones	52
3.12.4. Instalaciones eléctricas y de agua de riego	52
3.12.5. Programador de tiempo	54
3.12.6. Nebulizadores	56
3.13. EVALUACIONES REALIZADAS	57
3.13.1. Operación y funcionamiento del Sistema aeropónico	57
3.13.2. Altura de plantas en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	57
3.13.3. Longitud de raíces en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	58
3.13.4. Peso de materia fresca de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	58
3.13.5. Rendimiento en peso seco en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	59
3.14. PROCESAMIENTO DE DATOS	59
4. RESULTADOS	60
4.1. Diseño, construcción, evaluación y comprobación del Sistema aeropónico	60
4.2. Altura de plantas en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	61
4.3. Longitud de raíces en lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	62
4.4. Peso fresco de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	65
4.5. Peso seco de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	66
5. DISCUSIÓN	69

6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	79
8. BIBLIOGRAFÍA	80
9. ANEXOS	83



AGRADECIMIENTO

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación. Nuestros sinceros agradecimientos están dirigidos hacia Ingeniero Froy Coloma, Ingeniera Dina Mamani, ingeniero Rigoberto López Portilla, quien con su ayuda desinteresada, nos brindaron el apoyo necesario siendo nuestros jurados también al ingeniero José Pinto por la información relevante que nos brindo. A los demás Ingenieros a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza

A nuestras familias por siempre brindarnos su apoyo, tanto sentimental, como económico y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.



DEDICATORIA

A Dios bendito, a mis Padres Marco y Aurora, y a mi Hermano Marco. Quienes fueron mi soporte y fortaleza durante todo el desarrollo de la carrera, a pesar de los problemas y obstáculos que se presentaron. A ellos y solo a ellos les debo este logro alcanzado.

Luis Manrique Granda

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres Sergio y Julia, a mi mamá Ruth, a mis tías y tíos, primos y primas, a mi hijito Gastón, a toda mi familia y amigos. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. A mi hijito porque eres el motivo para seguir adelante pase lo que pase. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con toda mi vida.

Alexander Ernesto Roldan Allasi

LISTA DE CUADROS

- CUADRO No. 01** Análisis de Varianza (ANVA) para altura de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012
- CUADRO No. 02** Prueba de Rango Múltiple de Duncan para altura de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2011
- CUADRO No. 03** Análisis de Varianza (ANVA) para longitud de raíces de plantas de lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012
- CUADRO No. 04** Prueba de Rango Múltiple de Duncan para longitud de plantas en lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2011
- CUADRO No. 05** Análisis de Varianza (ANVA) para peso fresco de plantas de lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012
- CUADRO No. 06** Análisis de Varianza (ANVA) para peso fresco de plantas de Lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012
- CUADRO No. 07** Prueba de Rango Múltiple de Duncan para peso seco de plantas de lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2011

LISTA DE GRAFICOS

- GRÁFICO No.1 Altura de plantas en Lechuga (*Lactuca sativa* L.)
- GRÁFICO No.2 Longitud de raíces en Lechuga (*Lactuca sativa* L.)
- GRÁFICO No.3 Peso fresco de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)
- GRÁFICO No.4 Peso seco de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)



LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA No. 01	Fundo "La Banda." Huasacache. Hunter.
FOTOGRAFIA No. 02	Ubicación del campo experimental
FOTOGRAFIA No. 03	Rehabilitación Invernadero Gran Túnel
FOTOGRAFIA No. 04	Invernadero Gran Túnel rehabilitado
FOTOGRAFIA No. 05	Nutrientes Solución A
FOTOGRAFIA No. 06	Nutrientes Solución B
FOTOGRAFIA No. 07	Vista de las tres variedades
FOTOGRAFIA No. 08	Estructura de madera de los contenedores
FOTOGRAFIA No. 09	Colocación de tecnopor en los contenedores
FOTOGRAFIA No. 10	Tapas de tecnopor con plástico negro
FOTOGRAFIA No. 11	Contenedor impermeabilizado y sistema de riego
FOTOGRAFIA No. 12	Distribución de contenedores o cajones
FOTOGRAFIA No. 13	Electro bomba y equipo hidroneumático
FOTOGRAFIA No. 14	Electro bomba, equipo hidroneumático y reservorio de agua
FOTOGRAFIA No. 15	Programador de tiempo de riegos (Timer)
FOTOGRAFIA No. 16	Programador de tiempo en interior de Invernadero
FOTOGRAFIA No. 17	Sistema de riego con nebulizadores
FOTOGRAFIA No. 18	Funcionamiento de los nebulizadores
FOTOGRAFIA No. 19	Altura de plantas
FOTOGRAFIA No. 20	Longitud de raíces en sistema aeropónico
FOTOGRAFIA No. 21	Peso en verde de la variedad Red

LISTA DE ANEXOS

- Anexo No. 01 Registros Meteorológicos de la Estación Huasacache.
- Anexo No. 02 Análisis de agua de Huasacache
- Anexo No. 03 Metrado y Presupuesto Modulo Aeropónico
- Anexo No. 04 Altura de plantas. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012
- Anexo No. 05 Profundidad de raíces. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012
- Anexo No. 06 Peso de plantas en verde. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012
- Anexo No. 07 Peso de plantas en seco. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012
- Anexo No. 08 Croquis del Experimento

RESUMEN

Con el objeto de determinar la Respuesta de tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.), en un módulo de Aeroponía, se llevó a cabo esta investigación en el Fundo "La Banda" de la Universidad Católica de Santa María, en Arequipa.

El presente trabajo se inició en Agosto del 2012, con la rehabilitación del Invernadero Tipo Túnel y la construcción de un Sistema Aeroponico. La instalación del cultivo lechuga fue el 29 de setiembre del 2012, finalizando los trabajos con la cosecha el 12 de Noviembre del mismo año. Se probaron tres variedades de lechuga, Red Salad Bowl, Waldmanns green y EM Mariposa.

La investigación se llevó a cabo en el Módulo aeropónico. Se construyeron contenedores de madera protegidos con tecnopor e impermeabilizados con plástico, tuvieron un cierre hermético. Sobre los contenedores se colocaron tapas o cubiertas de tecnopor, estas tuvieron perforaciones para la fijación de las plántulas de lechuga, para una densidad de 20 x 20 cm.

El sistema de riego, mediante nebulizadores, operó sin problema alguno, funcionaron correctamente la electro bomba, el sistema hidroneumático, el reservorio contenedor de sustancias nutritivas y el programador de tiempos de riego.

El diseño experimental empleado para determinar la Respuesta de tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el módulo de Aeroponía fue el de Completamente al Azar, con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento.

Los parámetros evaluados fueron altura de plantas, longitud de raíces, peso en verde y peso en seco. Estadísticamente el Tratamiento T3 (EM Mariposa) alcanzó la mayor altura promedio de plantas con 27.4 cm. El Tratamiento T2 (Waldmanns green) logró la mayor longitud de raíces promedio de plantas con 66.50 cm. El Tratamiento T2 (Waldmanns Green) alcanzo el mayor peso fresco promedio con 236.20 gr. El Tratamiento T2 (Waldmanns green) alcanzó el mayor peso en seco promedio por planta con 92.24 gr., esto está en relación directa con el peso en fresco de la lechuga.

SUMMARY

In order to determine the response of three varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a module Aeroponics, was conducted this research in Fundo "The Band" at the Catholic University of Santa Maria in Arequipa.

This work began in August 2012 with the rehabilitation of Greenhouse tunnel type. The installation of the lettuce crop was 29 September 2012, ending the work with the harvest on 12 November of the same year. We tested three varieties of lettuce, Red Salad Bowl, and EM Waldmanns green Mariposa.

The research was carried out in Module aeroponic. For the design, construction and operation was built with styrofoam containers protected and waterproofed with plastic, had a seal, the styrofoam had holes for lettuce with a density of 20 x 20 cm.

The pressurized irrigation system, using nebulizers, operated without any problem, the electro pump worked properly, hydropneumatic system, the reservoir containing nutrients and Scheduler run times.

The experimental design used to determine the response of three varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the aeroponic module was completely randomized, with three treatments and three replications.

The parameters evaluated were plant height, root length, fresh weight and dry weight. Statistically the Treatment T3 (MS Butterfly) reached the highest average height of 27.4 cm plants. Treatment T2 (Waldmanns green) achieved the highest average root length 66.50 cm plants. No significant differences in weight of green lettuce for varieties Red Salad Bowl (T1), Waldmanns green (T2) and MS Butterfly (T3), with 197.75 gr. / Plant, 236.20 gr. / Plant and 202.20 gr. / Plant, respectively. There were statistical differences for the Treatment T2 (Waldmanns green) that reached the highest dry weight per plant with 92.24 gr., Which is in direct relation to the fresh weight of lettuce.

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a los resultados del Censo Agropecuario realizado en el 2012, por el INEI, el área agrícola en Arequipa es de 148 033 ha. y de éstas 102 094.1 (69.00%) son cultivadas, 18 864.5 (8.00%) son tierras en barbecho o están siendo preparadas para trabajarlas, 22 118.9 ha. (15.00%) son no trabajadas y 4 955.2 (3.00 %) se encuentran en descanso. En tanto que el área no agrícola, compuesta por bosques, montes, pastos naturales y otros usos es de 1 817 237 ha. Del total del área cultivada, 34 258 ha. son con el cultivo alfalfa, 8 984.5 para el arroz, 664.8 para maíz chala, 6 017 ha para papa, 4 413 ha para cebolla, 2 608.1 ha. para ajo y 4 916.4 ha para olivo (INEI). A nivel nacional, la superficie cultivada de hortalizas fluctúa entre 120 000 a 130 000 hectáreas aproximadamente, que representa el 5% de la superficie cultivada realmente. (UNALM, 1995)

La agricultura del país se desarrolla en condiciones geográficas y climáticas no muy favorables, este problema se acentúa en muchos casos por un mal manejo de los cultivos. Esto trae como consecuencia bajos rendimientos en promedio de los productos agrícolas obtenidos de la agricultura tradicional. (UNALM, 1995)

Cuando las tierras agrícolas son muy escasas y la agricultura tradicional no logra resolver el problema alimentario nacional, es necesario emplear métodos no tradicionales para producir alimentos y forrajes, tales como los cultivos hidropónicos. (UNALM, 1995)

La hidroponía tiene un gran potencial en nuestro medio; los principios científicos y técnicos en que se basa son sencillos, y puede ser la solución a los problemas de producción de alimentos y forrajes, ya que los rendimientos por unidad de área cultivada son superiores a un cultivo en campo, dado que permite altas densidades de siembra y elevada producción por planta.

Este sistema de producción sin suelo, ofrece ventajas como tener cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación. Reducción de costos de producción, permite la producción de semilla certificada, independencia de los fenómenos

meteorológicos. Permite producir cosechas en contra estación. Emplear menos espacio y capital para una mayor producción. El ahorro de agua, que se puede reciclar, el ahorro de fertilizantes e insecticidas. Se evita el uso de maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera). Limpieza e higiene en el manejo del cultivo, mayor precocidad de los cultivos, y alto porcentaje de automatización. (Martínez, 1993)

La aeroponía aprovecha mejor el espacio vertical de un invernadero. El desarrollo del sistema radicular se incrementa por el amplio espacio y el ambiente óptimo para su desarrollo (balance de aire y humedad). Como resultado de esto, el desarrollo del follaje también se incrementa. (Martínez, 1993)

Comparando la producción de Lechuga con un sistema Aeropónico frente a una producción de lechuga tradicional (suelo) se tiene la siguiente diferencia: a) lechugas/m² en suelo se obtienen 6 – 8 plantas, con el sistema aeropónico 25 – 28 plantas; b) lechugas/ha en suelo se obtienen 60000 – 80000, con el sistema aeropónico 250000 – 280000; c) docenas/Ha en suelo 5000 – 6670, con el sistema aeropónico 20800 – 23330. (Martínez, 1993)

La aeroponía se considera además segura y ecológica para la producción de plantas saludables. Las principales ventajas ecológicas de aeroponía son la conservación de agua y energía. En comparación con los cultivos hidropónicos, la aeroponía ofrece menores aportes de agua y energía por metro cuadrado de área de cultivo. Cuando se usa comercialmente, la aeroponía utiliza una décima parte del agua pero esto se puede reducir a tan sólo una vigésima parte. (Martínez, 1993)

JUSTIFICACION

Frente a los cultivos hortícolas tradicionales, instalados sobre un suelo normal, realizados frecuentemente sin el empleo de un sistema de protección (túneles o invernaderos), los cultivos sin suelo (hidropónicos o aeropónicos) aparecen como una alternativa imprescindible, para optimizar los beneficios que normalmente se consiguen con el empleo de estructuras que mejoran las condiciones medioambientales.

El empleo de una instalación permite controlar las condiciones medioambientales, como un invernadero con una estructura metálica, provista de una cubierta con una lámina de plástico flexible; y a su vez el uso de un sistema aeropónico evita los problemas que normalmente presenta un suelo poco profundo, con una textura inadecuada para tal o cual cultivo, con mayor o menor fertilidad, con exceso o falta de calcio, a veces con marcados desequilibrios nutricionales (C/N, Na/K, Ca/Mg), normalmente contaminado por parásitos procedentes de cosechas anteriores. Por esto se debe de prescindir de todo aquello que ocasiona problemas y se debe buscar soluciones en los denominados cultivos hidropónicos, aeropónicos o cultivos sin suelo.

La aeroponía ofrece el potencial de mejorar la producción y reducir los costos en comparación con los métodos convencionales o con el otro método de cultivo sin suelo llamado hidroponía (cultivo en agua). La aeroponía explota eficientemente el espacio vertical del invernadero y el balance humedad - aire para optimizar el desarrollo de raíces y follaje.

En Corea y China ya se realiza la producción comercial de semilla de papa de calidad usando aeroponía. Esta tecnología viene usándose exitosamente en la zona centro-andina de Sudamérica desde 2006. En la Estación Experimental del CIP-Huancayo (Perú), se obtuvo una producción de más de 100 tuberculillos/planta usando materiales relativamente sencillos y baratos. Actualmente se está tratando de introducir esta tecnología en los sistemas de producción de semilla de papa de calidad en algunos países africanos ubicados al sur del Sahara.

Visto los alcances anteriores, esta investigación se realizó para demostrar que con el sistema aeropónico se pueden obtener mejores producciones de lechuga en espacios más cortos que en terrenos agrícolas. El cultivo de lechuga es una de las hortalizas con más demanda y aceptación, siendo empleada para el consumo doméstico y de Gourmet.

Teniendo en cuenta que en entidades públicas relacionadas al agro, como el Ministerio de Agricultura y Riego y entidades privadas, no se encontraron investigaciones realizadas sobre el sistema aeropónico, este hecho motivó a efectuar este estudio bajo nuestras condiciones.

HIPOTESIS

Dado que la Aeroponía es un sistema nuevo, seguro para la producción de olerizas, aprovechando mejor los espacios más cortos y espacios verticales de un invernadero, controlando las condiciones medioambientales, es posible que se pueda obtener producciones de mejor calidad, reduciendo costos; siendo probable que con el desarrollo de esta investigación se puedan obtener mayores producciones de lechugas en menor espacio y de mejor calidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar la Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Red Salad Bowl, Waldmanns green y EM Mariposa producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Comprobar el diseño y funcionamiento de un sistema aeropónico, para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.).
- ✓ Determinar con cuál de las tres variedades de lechuga Red Salad Bowl, Waldmann green y EM Mariposa en estudio, se obtendrá una mayor altura de planta.
- ✓ Encontrar cuál de las tres variedades de lechuga, Red Salad Bowl, Waldmann green y EM Mariposa alcanzará una mayor longitud de raíces.
- ✓ Evaluar cuál de las tres variedades de lechuga, Red Salad Bowl, Waldmann green y EM Mariposa logrará un mayor peso en materia fresca.
- ✓ Encontrar cuál de las tres variedades de lechuga Red Salad Bowl, Waldmann green y EM Mariposa tendrá un mayor peso en seco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

2.1.1. Descripción botánica

Planta hortense de la familia de las compuestas; sus hojas son muy blandas y algo anchas y rugosas con modificación de color del glauco al verde oscuro, todas superpuestas y desiguales. Tiene un tallo corto muy ramoso de contextura frágil y quebradiza del mismo color de las hojas, pequeñas flores amarillas con un fruto de color gris seco, con una sola semilla. (Maroto, 1995)

Existen 2 variantes de esta planta: la romana con hojas arrolladas en forma de bola y la de hoja larga tipo espárrago; ambas muy comestibles, pues sirven como guarnición a los platillos con preparados cárnicos, aunque se puede comer sola o con ensaladas al gusto. Florece prácticamente todo el año y crece en climas de templado a frío (Maroto, 1995).

2.1.2. Origen y Taxonomía

a) Origen

El origen no es muy claro, algunos autores afirman que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Asia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serviola*.

El cultivo comenzó hace 2 500 años. Era una hortaliza conocida por los persas, griegos y romanos. Estos últimos tenían la costumbre de consumirla antes de acostarse después de una cena abundante, para así poder conciliar mejor el sueño. Además, en esta época ya se conocían distintas variedades de lechuga. En la edad media su consumo comenzó a descender, pero volvió adquirir importancia en el Renacimiento. (Yuste, 1997).

Las primeras lechugas de las que tienen referencia son de hojas sueltas, mientras que las variedades acogolladas no se conocieron en Europa hasta el Siglo XVI. Dos siglos más tarde se obtuvieron numerosas variedades gracias a los estudios llevados a cabo por horticultores alemanes. En la actualidad, es una hortaliza cultivada al aire libre en zonas templadas de todo el mundo y también en invernaderos (Yuste, 1997).

b) Taxonomía

Según Torres (2002), la clasificación taxonómica de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es la siguiente:

División: Fanerogamas
Sub división: Angiospermas
Clase: Dicotiledóneas
Orden: Synandreae
Familia: Compositae
Género: *Lactuca*
Especie: *sativa*

2.1.3. Características botánicas de la planta

a) Raíz

Consta de una raíz pivotante y numerosas raíces laterales, la mayoría de éstas se desarrollan en la capa superficial del suelo, pero su raíz principal es de crecimiento rápido y puede llegar a los 60 cm. (Gispert, 1999).

b) Tallo

Es corto y pequeño de forma cilíndrica y sin ramificaciones y lleva una roseta de hojas que varía de tamaño, color, textura y forma, según los cultivares. El tallo floral que se

forma una vez pasada la madurez comercial, puede llegar a medir de 1.0 a 2.0 m., en algunas variedades (Gispert, 1999).

c) Hojas

Son lisas y sensibles (sin peciolo). Las hojas se disponen primeramente en roseta y después se aprietan unas juntas con otras formando un cogollo mas o menos consistente y apretado en algunas variedades más que otras. Tiene una coloración verde amarillenta, hasta el morado claro, dependiendo de la variedad. Las hojas pueden ser redondeadas, lanceoladas, espatulazas. La consistencia de las mismas pueden ser liso, ondulado o aserrado existiendo una amplia variedad varietal (Gispert, 1999).

d) Flor

Posee flores perfectas liguladas cuyos pétalos son de color amarillo o blanco amarillentas las cuales están reunidas en racimos o corimbos.

Es una planta autógama, su estructura de la flor de la flor facilita la fecundación cuyo androceo esta formado por cinco estambres, cuyos filamentos están insertos por el tubo de la corola y unidos por las anteras formando un tubo que rodea al estilo. Cuando se produce cruzamiento es debido a los insectos ya que el polen es pesado y pegajoso para ser transportado por el viento (Gispert, 1999).

e) Fruto

Los frutos de la lechuga son llamados aquenios (semilla), los cuales están provistos de un vilano plumoso y miden de 4 a 5 mm. Son de color mayormente blanco, crema, pardo o castaño (Gispert, 1999).

2.1.4. Fisiología del crecimiento

Uno de los problemas que se presenta en este cultivo es que muchas veces no llegan a formar cogollos, la cual es una capacidad de carácter genético cuantitativo, teniendo

algunos factores como influencia entre el equilibrio en luz y temperatura y la concentración de nutrientes en la solución.

Desde el punto de vista agronómico, en el cultivo la mayor parte de las lechugas, se distinguen las siguientes fases: de formación de roseta de hojas, fase de formación de un cogollo mas o menos compacto y fase de reproducción o de emisión de un tallo floral (Maroto, 1995).

2.1.5. Clasificación

- ❖ **Romanas:** No forman un verdadero cogollo, las hojas son oblongas, con bordes enteros y nervio central ancho, su cogollo es largo y erguido, su cabeza es de forma vertical.
- ❖ **Acogolladas:** Forman un cogollo apretado de hojas.
- ❖ **De hojas sueltas:** Poseen hojas sueltas, duras y dispersas.
- ❖ **Espárrago:** Se aprovechan por su tallo, teniendo las hojas puntiagudas y lanceoladas. Se cultiva principalmente en China e India.
- ❖ **De tallo:** Tienen un tallo grueso comestible y hojas de sabor desagradable (Gispert, 1999).

2.1.6. Cultivo de lechuga en hidroponía

Tanto para el cultivo en balsas como para el sistema NFT y aeropónico, el mejor método de siembra es en cubos de lana de roca de 1 pulgada. Pre empapar los cubos con agua de forma similar a como se hace para tomates y pimientos. Utilizar semilla en píldoras para sembradoras automáticas. Generalmente se consigue una germinación más uniforme con semilla en píldoras que con semilla normal, pues el material de envoltura de arcilla retiene la humedad alrededor de la semilla durante el proceso de germinación. Sembrar siempre semilla extra de acuerdo con el porcentaje de germinación. Guardar la semilla en el frigorífico para conservar su viabilidad. No almacenar la semilla más que unos pocos meses, pues pronto pierde su viabilidad en seis meses. (Gutiérrez, 2000)

Para pequeños canales NFT especializados, sembrar las semillas en un sustrato de vermiculita gruesa en bandejas "creamcup" de 154 celdas. Una sembradora automática cubre las semillas con una delgada capa de vermiculita cuando la bandeja deja la máquina. Las bandejas se riegan en tablas especiales de flujo y reflujo. (Canovas et al. 1993)

Una vez que los cotiledones se han expandido completamente y las primeras hojas verdaderas comienzan a emerger, utilizar una solución de nutrientes de EC 1.5 mS/cm y pH 5.4 - 5.8. Las temperaturas óptimas de germinación varían entre 15°C - 20°C. Las temperaturas superiores a 23°C pueden inducir dormancia. Esto se puede superar colocando las semillas sobre toallas húmedas de papel en un frigorífico a 2-5°C durante 48 horas antes de sembrar. (Canovas et al. 1993)

Si la dormancia es un problema, conservar las semillas a 16°C hasta que emerjan las plántulas. Mantener la humedad relativa entre el 60 y el 80% y el dióxido de carbono en 1.000 ppm durante el día. En las regiones septentrionales, utilizar iluminación suplementaria durante las 24 horas del día en la emergencia de las plántulas durante los meses de invierno con tiempo nublado.

Trasplantar al área de producción del invernadero cuando se formen 3 a 4 hojas verdaderas con una edad de 2 a 3 semanas. (Canovas et al. 1993)

2.2. HIDROPONIA

2.2.1. Definición

Hidroponía es una palabra que deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor o trabajo) que significa trabajo en agua. Es una ciencia que estudia los cultivos sin tierra.

Se define como la ciencia de cultivo de plantas sin el uso de tierra, pero con uso de un medio inerte, como arena gruesa, turba, vermiculita o aserrín al que se agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la

planta para su crecimiento normal y desarrollo. Puesto que muchos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio que contiene material orgánico como turba o aserrín, son a menudo llamados "cultivos sin suelo", mientras que aquellos con la cultura del agua serían los verdaderamente hidropónicos. (Solto, 1994)

La hidroponía es el término que describe las distintas formas en las que pueden cultivarse plantas sin tierra. Estos métodos, generalmente conocidos como cultivos sin suelo, incluyen el cultivo de plantas en recipientes llenos de agua y cualquier otro medio distintos a la tierra. - incluso la arena gruesa, vermiculita y otros medios más exóticos, como piedras aplastadas o ladrillos, fragmentos de bloques de carbonilla, entre otros. (Solto, 1994, Zapp, 1991)

2.2.2. Pasado de la Hidroponía

Se conocen trabajos de este tipo de fechas cercanas al año 1600. El cultivo hidropónico es anterior al cultivo en tierra pero, muchos creen que empezó en la antigua Babilonia, en los famosos Jardines Colgantes.

Los aztecas de Centroamérica, una tribu nómada forzada a ubicarse hacia la orilla pantanosa del Lago Tenochtitlán, localizado en lo que es ahora México, sobrevivieron desarrollando notables cualidades de invención. Como consecuencia de la falta de tierra, decidieron hacerlo con los materiales que tenían a mano; debido a que la tierra venía del fondo del lago, rica en restos orgánicos y material descompuesto que aportaba grandes cantidades de nutrientes. Estas balsas, llamadas Chinampas, permitían cosechas abundantes. (Resh, 2001)

William Prescott, describió el Chinampas como "Asombrosas Islas de Verduras, que se mueven como las balsas sobre el agua". Las Chinampas continuaron siendo usadas en el lago hasta el siglo XIX. Los Jardines Flotantes de China son otro ejemplo de "Cultivo Hidropónico" (Resh, 2001)

Archivos jeroglíficos egipcios antiguos de varios cientos años A.C. describen el crecimiento de plantas en agua a lo largo del Nilo. Antes del tiempo de Aristóteles, Teofasto (327-287 A.C.) hizo varios experimentos en nutrición de plantas. Los estudios botánicos de Dioscorides son anteriores al primer siglo D.C. En 1600 Jan

Van Helmont mostró experimentos clásicos que las plantas obtienen sustancias del agua. (Resh, 2001)

En 1699, John Woodward, encontró que el mayor crecimiento ocurrió en agua con la mayor cantidad de tierra. Concluyó que el crecimiento de la planta era un resultado de ciertas sustancias y minerales en el agua, contenidos en el "agua enriquecida". Por décadas que siguieron a la investigación de Woodward, los fisiólogos de plantas demostraron que el agua era absorbida por las raíces de la planta, que atraviesa su sistema capilar y que escapa en el aire a través de los poros en las hojas. Descubrieron que la planta toma minerales tanto del suelo como del agua y que las hojas expulsan dióxido de carbono al aire. Demostraron también que las raíces de la planta toman oxígeno. (Resh, 2001)

La química moderna logró adelantos en los siglos XVII y XVIII cuando las plantas analizadas determinaron que están compuestas por elementos derivados del agua, tierra y aire. Sir Humphrey Davy, desarrolló un método para que los químicos puedan dividir un compuesto en sus partes constitutivas.

En 1792 Joseph Priestley descubrió que al colocar una planta en una cámara ésta absorberá el dióxido de carbono y emitirá oxígeno. Jean Ingen-Housz, después, llevó el trabajo de Priestley más allá y demostró que una planta encerrada en una cámara llena de dióxido de carbono podría reemplazar el gas con oxígeno si la cámara se expone a la luz solar. La luz del sol no tenía efecto sobre el recipiente con dióxido de carbono, era cierto que la planta era la responsable de esta transformación notable. Ingen-Housz estableció que este proceso trabaja más rápidamente en condiciones de luz intensa, y que sólo las partes verdes de la planta estaban involucradas. (Resh, 2001)

En 1804, Nicolas De Saussure publicó investigaciones, indicando que las plantas están compuestas de minerales y elementos químicos obtenidos del agua, tierra y aire. En 1842 se publicó una lista de nueve elementos considerados esenciales para el crecimiento de las plantas.

Estas proposiciones fueron verificadas por Jean Baptiste Boussingault (1851). En sus experimentos con medios de crecimiento inertes, alimentó plantas con soluciones en

agua usando varias combinaciones de elementos puros obtenidos de la tierra, arena, cuarzo y carbón de leña, a los cuales agregó soluciones de composición química conocida. Concluyó que el agua era esencial para crecimiento de la planta proporcionando hidrógeno y que la materia seca de la planta consiste en hidrógeno, carbono y oxígeno que provienen del aire. Estableció que las plantas contienen nitrógeno y otros elementos minerales, y obtienen todos los nutrientes requeridos de los elementos de la tierra que usó; pudo entonces identificar los elementos minerales y las proporciones necesarias para perfeccionar el crecimiento de la planta. (Resh, 2001)

En 1856 Salm-Horsmar desarrolló técnicas para el uso de arena y otros sustratos inertes, investigadores habían demostrado que pueden crecer plantas en un medio inerte humedecido con una solución de agua que contiene los minerales requeridos por las plantas. El próximo paso era eliminar completamente el medio y cultivar las plantas en una solución de agua que contuviera estos minerales.

En los años 1859 a 1865 la técnica fue perfeccionada por Julius Von Sachs (1860), y W. Knop (1861), llamado "El Padre de la Cultura del Agua." En ese año (1860), Julius Von Sachs publicó una fórmula para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer plantas con éxito. Esto marcó el fin del origen de los nutrientes vitales para las plantas, dando origen a la "Nutricultura". (Resh, 2001)

Las investigaciones en nutrición de plantas demostraron que el crecimiento normal de estas puede ser logrado sumergiendo sus raíces en una solución de agua que contenga nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg). Científicos descubrieron siete elementos requeridos en cantidades relativamente pequeñas, hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), y molibdeno (Mo).

En 1920 el laboratorio de "cultura de agua" fue regularizada y se establecieron los métodos para su correcto uso. En años siguientes, investigadores desarrollaron fórmulas para la nutrición de las plantas. Algunos fueron Tollens (1882), Tottingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919), Deutschmann (1932), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946). (Resh, 2001)

La aplicación práctica de la "Nutricultura" no se desarrolló hasta 1925 cuando la industria del invernadero expresó interés en su uso. Las tierras del invernadero tuvieron que ser reemplazadas frecuentemente para superar problemas de estructura, fertilidad y pestes. Se dieron cuenta del uso potencial de la nutricultura para reemplazar la tierra convencional por los métodos culturales.

Antes de 1930, la mayoría del trabajo hecho sobre cultivos sin suelo se orientó al laboratorio para fines experimentales. Nutricultura, quimicultura, y acuicultura eran términos usados durante los años veinte para describir la cultura del cultivo sin suelo. Entre 1925 y 1935 tuvo un desarrollo extenso modificando las técnicas de laboratorio de nutricultura a la producción de cosechas a gran escala. (Resh, 2001)

A final de 1920 el Dr. William F. Gericke extendió sus experimentos en nutrición de plantas a cosechas comerciales. A estos sistemas de nutricultura los llamó "hidroponía".

Hasta 1936, el cultivo de plantas en agua y la solución de nutriente era una práctica restringida a los laboratorios. El Dr. Gericke cultivó hidropónicamente verduras.

Fueron muchos los problemas que encontraron los "cultivadores hidropónicos" con el sistema de Gericke ya que exigía mucho conocimiento técnico e ingeniosidad. Una de las dificultades principales estaba asociada al suministro suficiente de oxígeno en la solución nutriente. Las plantas agotarían el oxígeno rápidamente, absorbiéndolo a través de las raíces, y por esta razón era indispensable que un suministro continuo de oxígeno fresco fuese introducido en la solución a través de algún método de aireación. Otro problema era apoyar las plantas para que las puntas de las raíces se mantuvieran en la solución. (Resh, 2001)

En 1936, W. F. Gericke y J. R. Travernetti publicaron el registro de cultivos exitosos. Se han construido unidades hidropónicas, en México, Puerto Rico, Hawaii, Israel, Japón, India, y Europa. En los Estados Unidos se hicieron, sin mucho conocimiento del público.

Una aplicación de la técnica se demostró supliendo comida a las tropas ubicadas en islas no cultivables en el Pacífico al inicio de la década de 1940. Pan American Airways estableció un centro de cultivos hidropónicos en la Isla Wake en el Océano Pacífico para proporcionar suministros de verduras frescas a los pasajeros y tripulaciones de la aerolínea. Entonces el Ministerio Británico de Agricultura empezó a mostrar un interés activo por la hidroponía, especialmente desde que su importancia potencial en la Campaña "Cultivar-Más-Comida" (Grow-More-Food) durante la guerra (1939-1945) fue comprendida totalmente. (Resh, 2001)

Al final de los años 40, Robert B. y Alice P. Withrow desarrollaron un método hidropónico más práctico. Usaron arena gruesa inerte como medio de arraigado, inundando y drenando alternativamente la arena en un recipiente, dieron a las plantas el máximo tanto de solución nutritiva, como de aire a las raíces. Este método se conoció después como el método de la arena gruesa o grava para hidroponía, a veces también llamado nutricultura.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la hidroponía, usando el método de la arena gruesa, dio su primera prueba para la obtención de verduras frescas para el ejército de los Estados Unidos. En 1945 la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, resolvió el problema de proporcionar verduras frescas. La primera granja hidropónica se construyó en la Isla de Ascensión en el Atlántico Sur. Las técnicas desarrolladas en Ascensión se usaron más tarde en las islas del Pacífico como IwoJima y Okinawa. (Resh, 2001)

En la Isla de la Estela, en el oeste de Océano Pacífico de Hawaii, normalmente incapaz de producir cosechas, la fuerza aérea de EEUU. construyó "camas de crecimiento". También en la isla de IwoJima en donde empleó piedra volcánica aplastada como sustrato.

Durante este periodo (1945), el Ministerio Aéreo de Londres comenzó a cultivar sin suelo en la base Habbaniya en Irak y en la isla de Bahrein en el Golfo Pérsico. En el caso del Habbaniya, todas las verduras tenían que ser traídas de Palestina para alimentar a las tropas estacionadas allí.

Después de la Segunda Guerra Mundial los militares continuaron usando hidroponía. Establecieron un proyecto de 22 hectáreas en Chofu, Japón. Durante muchos años, la práctica empleada era utilizar la "Tierra Nocturna", la cual contenía excremento humano como fertilizante. La tierra estaba contaminada con varios tipos de bacterias y amebas. (Resh, 2001)

Después de la Segunda Guerra Mundial, se construyeron varias instalaciones en Estados Unidos, la mayoría en Florida. El uso de la hidroponía, creció y se extendió a lo largo del mundo en los años cincuenta a países como Italia, España, Francia, Inglaterra, Alemania, Suecia, la URSS e Israel (Resh, 2001)

Uno de los muchos problemas encontrados en la hidroponía fue causado por el hormigón usado para las camas de crecimiento. La cal y otros elementos afectaron la solución nutritiva, además, la estructura de metal también fue afectada por los elementos en la solución (Resh, 2001)

En el Lejano Oriente empresas norteamericanas tienen zonas dedicadas a la producción de vegetales, en la India Oriental, el Medio Este, zonas arenosas de la Península árabe y el Desierto del Sahara; en áreas estériles, fuera de la Costa venezolana, en Aruba y Curazao, y en Kuwait. (Resh, 2001)

En los Estados Unidos, existen en Illinois, Ohio, California, Arizona, Indiana, Missouri y Florida, y se ha desarrollado notablemente esta cultura en México y las áreas vecinas de Centroamérica. Estudios recientes han indicado que hay más de un millón de unidades hidropónicas caseras que operan en los Estados Unidos. Rusia, Francia, Canadá, Sudáfrica, Holanda, Japón, Australia y Alemania están entre otros países donde la hidroponía está recibiendo la atención que merece.

Entre 1930 y 1960 se había dirigido a desarrollar un sistema para producir alimento para ganado y aves. El sistema era capaz de producir de forma consistente; sin embargo, varios problemas se presentaron. Los primeros sistemas tenían poco o ningún control medioambiental, y sin el control de temperatura o humedad había una fluctuación constante en la proporción de crecimiento. Con el desarrollo de nuevas

técnicas, equipos, y materiales, llegaron a estar disponibles unidades virtualmente libres de estos problemas. (Resh, 2001)

La hidroponía no llegó a la India hasta 1946. En ese año, se empezó en la Granja Experimental de Kalimpong en el Distrito de Darjeeling (Bengala). Al principio varios problemas tuvieron que ser enfrentados. Incluso un estudio superficial de los distintos métodos que estaban siendo utilizados en Gran Bretaña y en América los reveló como inapropiados para su utilización por la comunidad de la India. En 1946-1947 se produjo el desarrollo del Sistema Bengalí de hidroponía. Un objetivo guió todos los experimentos llevados a cabo: despojar a la hidroponía de dispositivos complicados y poder presentarlo al pueblo de India y el mundo entero como una manera barata y fácil de cultivar vegetales sin tierra. El Sistema de Bengalí hizo mucho más que probarse a sí mismo: demostró ser útil en las condiciones más adversas. (Resh, 2001)

2.2.3. Presente de la hidroponía

Con el desarrollo del plástico, la hidroponía dio un paso grande adelante. Uno de los problemas más urgentes encontrado en todos los sistemas era la constante contaminación de la solución con elementos perjudiciales del concreto, medios de enraizado y otros materiales. Con la fibra de vidrio y los plásticos, los tipos diferentes de vinilo, los polietilenos y muchos otros, este problema fue prácticamente eliminado. (INIA, 2000)

2.2.4. La hidroponía en el Perú

Las experiencias sobre hidroponía a nivel nacional en huertos caseros y comunales durante las últimas décadas, fueron promovidas por diferentes instituciones, lo que ha permitido que un sector de la población esté identificado con esta actividad, experiencias que han servido de efecto multiplicador y ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas. (UNALM, 1997)

Fue introducida en el Perú a mediados de los años 70 por la Universidad Nacional Agraria "La Molina", incorporándola en la enseñanza e investigación para incentivar y proyectar su difusión hacia la comunidad. (UNALM, 1997)

Las primeras instalaciones a nivel comercial se realizaron a partir de 1985 en Huaral (Lima), en 1989 fue inaugurado el Centro de Investigación y Capacitación Hortícola de Huaral – INIA, en el marco de la cooperación técnica entre los gobiernos de Perú y Japón, lugar en donde se inició las primeras experiencias en los sistemas Nutrient Film Technique (NFT) y Sprinkling Pressure System (SPS) (INIA, 2000).

Un hecho que marcó el inicio de un nuevo impulso en el Perú fue la realización del "Primer Curso Nacional de Hidroponía Popular", llevado a cabo en el INIA-Huaral en 1993, con apoyo técnico de la FAO y auspicio del Programa Mundial de Alimentos, con el objeto de promocionar la hidroponía popular a través de la capacitación de agentes multiplicadores, para adoptar y además adaptar tecnologías a las diferentes condiciones a nivel nacional, así como propiciar la generación de ingresos con la venta de los productos de los huertos implementados (INIA, 2000)..

En 1996 se llevó acabo el I Curso Taller Internacional sobre Hidroponía con expositores y asistentes de diversas partes del mundo.

Es necesario destacar el desarrollo de las investigaciones sobre la formulación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos, que fue un serio problema desde el inicio de la aplicación de esta técnica. Al respecto las primeras instalaciones comerciales utilizaron como nutrientes los fertilizantes existentes en el mercado, cuya formulación lo hicieron de acuerdo a la experiencia de otros países. En 1993 luego de varios años de investigación, la Universidad Nacional Agraria "La Molina" informó sobre los avances en la formulación de soluciones nutritivas, posteriormente en 1994 ponen a disposición de los usuarios las soluciones concentradas A y B, que se vienen comercializando actualmente con bastante éxito. El INIA (Huaral), también dispone de soluciones nutritivas. (INIA, 2000, Rodríguez, 2001).

2.2.5. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo

En el XXIV Congreso Internacional de la Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas, celebrado en Kyoto (Japón) en 1994, Benoit y Ceustemans, presentaron a modo de decálogo las principales ventajas e inconvenientes que ofrecen los sistemas (Salazar, 1992).

2.2.5.1. Ventajas

- Permiten obtener cultivos más homogéneos y, de forma especial, favorecen el desarrollo de un sistema radicular más homogéneo.
- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los denominados hongos del suelo (damping off), lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes, algunas de las cuales (bromuro de metilo) están siendo cada vez más cuestionadas y prohibidas.
- Reducen el consumo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente.
- El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla más fácilmente que en cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.
- Mayor cantidad, calidad y precocidad de cosecha.
- Permiten una programación de actividades más fácil y racional.
- Admiten la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción (Salazar, 1992)

2.2.5.2. Inconvenientes

En un sistema hidropónico no todo son ventajas. Los inconvenientes más importantes que se presentan son los siguientes:

- El costo elevado de la infraestructura e instalaciones que configuran el sistema.
- El costo añadido que representa el mantenimiento de las instalaciones.

- El costo de la energía consumida por las instalaciones.
- La producción de residuos sólidos, a veces, difíciles de reciclar.
- La acumulación de drenajes cuando se riega con aguas de mala calidad.
- La contaminación de acuíferos cuando se practican vertidos impropicios.
- El costo de las instalaciones y de la energía necesaria para reutilizar parte de los drenajes producidos (Salazar, 1992)

2.2.6. Sistemas hidropónicos

La hidroponía como un sistema "no convencional" para el cultivo de plantas sin suelo, representa una innovación tecnológica que se caracteriza por la aplicación constante de nuevos diseños en el proceso de producción de cultivos, teniendo en común el principio sobre la utilización de soluciones nutritivas para nutrir las plantas.

Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua (hidropónicos) y cultivos en aire (aeropónicos).

Pueden ser:

- Sistema de raíz flotante
- Sistema NFT (Nutrient Film Technique)
- Sistema de riego por goteo
- Sistema de Sub irrigación
- Sustratos
- Sistema Aeropónico (Ávila y Valdivia, 2002)

a) Sistema raíz flotante

La producción en el sistema de raíz flotante se realiza en tres etapas: almácigo, primer transplante y transplante definitivo. Para la etapa del transplante definitivo, disponemos de contenedores de madera de 1 m x 1 m x 0.1 m, forrados interiormente con una manga de polietileno de color negro de 6 micras. En este sistema hidropónico cultivamos principalmente lechuga, apio y albahaca. En las etapas del primer transplante y transplante definitivo se requiere de una plancha de tecnopor

(poliuretano expandido) perforado, la cual flota en la solución nutritiva sosteniendo a las plantas. (Ávila y Valdivia, 2002)

Para lograr una mejor oxigenación de las raíces, se ha hecho una pequeña modificación al sistema, suspendiendo 2 a 3 cm las planchas de tecnopor, de tal forma que queden soportadas en los bordes del contenedor y de esta forma no estén en contacto con la solución nutritiva, dejando un espacio entre la solución nutritiva y la plancha de tecnopor. Para ello, es necesario extender dos cables o alambres galvanizados No 16 de un lado a otro del contenedor. Esta práctica permite obtener un mayor desarrollo radicular y un aumento significativo del peso fresco de las plantas, además de prolongar la vida útil de la plancha de tecnopor. (Ávila y Valdivia, 2002)

b) Sistema NFT Modificado o Recirculante

La producción en el sistema NFT también se realiza en tres etapas: almácigo, primer trasplante y trasplante definitivo. Para la etapa del trasplante definitivo, contamos con dos unidades del sistema NFT de recirculación intermitente.

La unidad opera en un área de 100 m² en la que se producen 2,300 plantas de lechuga. Esta unidad consta de 48 canales de 10 m de largo cada uno, distribuidos en 6 subunidades, cada una con 8 canales. Para construir los canales de cultivo, se emplearon tubos de PVC de 3 pulgadas de diámetro y cada canal tiene 50 agujeros de 1.5 pulgada, distanciados 20 cm. La solución nutritiva se prepara en un tanque de 1,100 litros de capacidad (Ávila y Valdivia, 2002)

Las plantas provenientes de la etapa del primer trasplante, se colocan en vasos de plástico perforados en la base, por donde se hace atravesar las raíces del cultivo; luego los vasos con las plantas se colocan en los agujeros del canal. Se usan vasos de 1 onza para plantas de lechuga y macetas de plástico de 4 onzas para plantas de fresa. (Ávila y Valdivia, 2002)

La modificación del sistema consiste en mantener una altura de 2 cm de solución nutritiva en los canales de cultivo durante los períodos en que ésta no circula. La recirculación de la solución nutritiva se realiza por períodos de 15 minutos cada media

hora, lo cual permite una reducción significativa (50%) del consumo de electricidad. La unidad funciona con un programador o "timer". (Ávila y Valdivia, 2002)

c) Cultivo en Sustratos

El cultivo en sustrato difiere de los sistemas de cultivo en agua en que las raíces de las plantas se desarrollan sobre un medio sólido que sirve principalmente de soporte a las plantas. En los sistemas que utilizan sustratos se pueden cultivar todo tipo de hortalizas.

El sustrato debe suministrar a las raíces el agua necesaria para el desarrollo de la planta y el aire suficiente para la respiración de las raíces. De allí la importancia para mantener un equilibrio entre la cantidad de agua y aire disponible. (Ansorema, 1994, Bures, 1997)

Los sustratos se pueden usar solos o en mezclas. Se han probado principalmente sustratos de origen natural que abundan en diferentes partes del país, entre ellos arena de río, arena de cantera, arena de cuarzo, piedra pómez, gravilla, grava, cascarilla de arroz, residuos de ladrillo, etc.

Los rendimientos dependerán del cultivo, tipo de sustrato, frecuencia de riego y de las condiciones climáticas. (Ansorema, 1994)

d) Sistema aeropónico

La aeroponía es el sistema hidropónico más moderno. Frente a los cultivos hortícolas tradicionales, instalados sobre un suelo normal, realizados frecuentemente al amparo de un sistema de protección (túneles o invernaderos), los cultivos sin suelo (hidropónicos o aeropónicos) aparecen como una alternativa imprescindible, para optimizar los beneficios que normalmente se consiguen con el empleo de estructuras que mejoran las condiciones medioambientales. (Server, Ellis, Daneel, 2002)

2.2.7. Aeroponía

El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de Pia (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo". Una columna de cultivo consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocado en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante. Las raíces crecen en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire, de ahí el nombre de aeroponía. Por el interior del cilindro una tubería distribuye la solución nutritiva mediante pulverización media o baja presión. (Server, Ellis, Daneel, 2002)

La principal ventaja que aporta la aeroponía es la excelente aireación que el sistema proporciona a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía. Basta tan solo considerar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de 5-10 mg/L a 20° C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que nos indica que la concentración de oxígeno en el aire es del orden de 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas disuelto en el agua. Los principales inconvenientes que presentan los sistemas aeropónicos tradicionales son: el costo elevado de la instalación y las obstrucciones de las boquillas de pulverización que pueden producirse si no se dispone de presión suficiente y una instalación adecuada. (Server, Ellis, Daneel, 2002)

Los sistemas aeropónicos que se utilizan actualmente difieren considerablemente del que inicialmente utilizó el Dr. Massantini en Italia. En Israel, por ejemplo, investigadores de la Agricultural Research Organisation pusieron a punto un sistema comercial que denominaron Ein-Gedi System (EGS). En realidad, se trata de un sistema aero-hidropónico, que consiste en sumergir la mayor parte de las raíces en el seno de una solución nutritiva que se halla constantemente en circulación; la solución nutritiva se pulveriza sobre la parte alta de las raíces proyectando aire a alta presión por medio de una tubería finamente perforada mediante tecnología láser, en contracorriente con la solución nutritiva circulante. De esta forma, se consigue que una parte de la raíz esté permanentemente en contacto con la solución nutritiva recirculante y la otra se halle bien aireada. (Server, Ellis, Daneel, 2002)

Desde hace algunos años, investigadores australianos han puesto a punto nuevos sistemas aeropónicos comerciales, uno de ellos recibe el nombre de Schwalbach System (SS). El sistema consiste en un tanque de plástico de 200 L de capacidad que alimenta una cámara de crecimiento en la que se encuentran las raíces en completa oscuridad. Una bomba se encarga de distribuir y pulverizar finamente la solución nutritiva, lo que permite atender simultáneamente 60 puntos de distribución, por cada uno de los cuales se pulveriza la solución nutritiva a razón de 10 L/h. (Server, Ellis, Daneel, 2002)

La innovación aeropónica más recientemente desarrollada en Australia recibe el nombre de Aero-Gro System (AGS). Se caracteriza y distingue fundamentalmente de los demás sistemas aeropónicos porque incorpora tecnología ultrasónica, lo que permite proyectar la solución nutritiva a baja presión, con gotas finamente pulverizadas y sin problemas de obstrucciones en tuberías y boquillas de pulverización. Se trata de una tecnología basada en los principios que se utilizan en clínicas y hospitales para tratar pacientes que sufren determinados problemas asmáticos, la pulverización ultrasónica de agua vaporizada, a temperatura ambiente y a baja presión. (STONER, R.J. M. Y J. CLAWSON, 1998)

La aeroponía también se ha utilizado con gran éxito en la propagación vegetal y, más concretamente, en la propagación de estacas de especies herbáceas (crisantemo) o leñosas (ficus) difíciles de enraizar. (Resh, H. 2001)

2.2.8. Aspectos constructivos en módulos Aeropónicos

2.2.8.1. Elementos básicos

La infraestructura en aeroponía debe explotar el espacio vertical de los invernaderos. Tanto el follaje como el sistema radicular desarrollan mucho más en aeroponía que con el sustrato convencional. Usualmente, un factor climático limitante dentro del invernadero es el calor. Así, invernadero con techos bajos son más calientes que invernaderos con techos altos. La orientación del invernadero es también importante para evitar el calor durante el día. Normalmente, los invernaderos con orientación

este-oeste son más frescos que los que tiene orientación norte-sur. Los invernaderos sin techo (Solo con malla) han probado ser inadecuados para aeroponía. Hay que tomar precauciones si solo existe una malla antiafida como techo, porque en ella se puede acumular polvo con esporas de patógenos que con la lluvia se pueden lavar e ir hacia los cajones, contaminando eventualmente a las plantas (O tazú, 2010)

2.2.8.2. Materiales y construcción

En casi todos los lugares se pueden encontrar materiales para la construcción de invernaderos. Los materiales más usados son madera, cemento, malla antiácida y material para techo. Éste último es el más crítico en términos de costo y duración. El plástico es más barato y puede durar hasta 3 años. El techo de policarbonato o fibra de vidrio dura más, pero su costo es significativamente mayor. El piso necesita una capa de 3" de grosor de piedra chancada o grava. Esta capa servirá para aislar del suelo posibles pestes como malezas y patógenos. Los pisos de cemento son costosos y durante los días soleados absorberán e irradiarán mucho calor. El techo necesita ser recubierto por una malla sombreadora para bajar el calor dentro el invernadero (O tazú, 2010).

2.2.8.3. Diseño y materiales usados en aeroponía

- **Distribución de cajones y diseño**

Si se cuenta con un invernadero, se deben distribuir los cajones de modo que se tenga un uso eficiente del espacio, pero también brindando comodidad al operador. Los cajones pueden ser distribuidos a lo largo del invernadero. El material más costoso en la construcción de cajones es el tecnopor. Este viene en planchas de diferentes tamaños, dependiendo del lugar. El ancho de los cajones deberá ser adecuado al tamaño de las planchas disponibles. El tamaño más grande es más conveniente porque se le puede usar en forma más eficiente en cuanto a la distribución de plantas por cajón. También hay que considerar el tipo de nebulizadores a utilizarse (O tazú, 2010).

- **Materiales**

Los cajones de aeroponía deben tener un aislamiento térmico adecuado de modo que las fluctuaciones de temperatura dentro del invernadero no afecten el

desarrollo radicular de las plantas. Los cajones también deben tener una rigidez y solidez adecuadas. Esto se debe tener en cuenta junto con la disponibilidad de materiales. Para la construcción de cajones tenemos varias opciones. El armazón de los cajones puede ser de madera o metal. La madera es de bajo costo y está siempre disponible. Como material aislante se tiene el tecnopor, pero también puede considerarse la madrea y el cartón o la madera prensada, siempre y cuando se le provea de protección contra la humedad. Todo este material de relleno de estructura debe ser revestido con plástico negro (Otazú, 2010).

2.2.8.4. Construcción de los cajones

La altura de los cajones deben ser entre 0.80 m. a 1.0 m. Las cajas deben tener ventanas laterales de 0.50 x 0.30 m cada metro, de modo que el operador pueda tener acceso al sistema de raíces al momento de la cosecha. Cuando el sistema está en funcionamiento, el líquido sobrante de la nebulización debe regresar por gravedad a la solución nutritiva. Con este fin, las cajas deben tener una pendiente. La cubierta superior de tecnopor debe tener agujeros para la fijación de las plántulas. Esto debe ser de acuerdo a las distancias requeridas. El revestimiento interior de las cajas requiere plástico negro, pues de lo que se trata es de evitar cualquier entrada de luz al sistema radicular de las plantas. La parte inferior interna (piso) debe ser forrada con plástico grueso para evitar fuga de nutrientes. El revestimiento superior externo se puede hacer con plástico transparente o blanco para permitir una menor concentración de calor y mayor luminosidad para las plantas. En el revestimiento interior de las cubiertas superiores también se debe usar plástico negro delgado. El mismo plástico negro delgado debe usarse para cubrir las ventanas, a manera de doble cortina. La cortina interna previene que la solución nebulizada de nutrientes salga fuera de la caja. La externa previene que la luz no entre a la caja. La tubería de 16 mm. debe correr a través de la parte central superior de las cajas con nebulizadores cada 60-65 cm. La cubierta superior debe fijarse exactamente sobre el resto de la estructura. Las barras transversales deben sostener la tubería de distribución. Estas barras estarán expuestas a la solución nutritiva. Se debe contar con dos tanques y dos electros bombas por módulo. Las bombas y los tanques deben

ponerse en la parte externa lateral del invernadero. Todas las cajas deben tener una pendiente hacia el tanque. Estas pendientes permiten que el exceso de la solución nutritiva regrese al tanque por gravedad. Con este fin, el tanque debe instalarse por debajo del nivel del suelo de manera que la parte inferior de cada caja esté siempre por encima de la porción superior del tanque (Otaú, 2010).

2.2.8.5. Programador de tiempo y otros componentes

Existen programadores de tiempo (timers) que pueden ser calibrados cada 10 segundos. Además de ser costosos, no siempre se encuentran en el mercado local y requiere de complicados procesos de programación que pueden alterarse si se producen frecuentes cortes de energía. En el CIP-Huancayo se han usado programadores manuales que pueden calibrarse para que funcionen cada 15 minutos. Farran y Mingo (2006) usaron timers calibrados para que el sistema funcione 10 segundos cada 20 minutos. Durante las noches frías es suficiente que el sistema funcione 15 minutos cada hora. Durante el día se puede programar para un funcionamiento de 15 minutos x 15 minutos de periodo inactivo. En cuanto a los nebulizadores, existen muchos modelos. Usualmente se venden en tiendas especializadas en equipos de riego o de invernaderos. Respecto al generador, si no se tiene uno que funcione automáticamente cuando se corta el fluido eléctrico, se debe implementar un sistema de alarma que permita encender el generador alternativo, especialmente los fines de semana. Esto es crucial en lugares con servicio deficiente de energía eléctrica (Otaú, 2010).

2.2.8. La calidad del agua y la solución nutritiva

Es importante conocer la composición química del agua para decidir si es posible su uso para fines de producción hidropónica.

Para preparar la solución nutritiva se debe tener en cuenta la concentración de macro y micronutrientes en el agua. Generalmente el agua contiene calcio, magnesio, azufre (en forma de sulfato) y boro y, por lo tanto, deben ser considerados al formular la solución nutritiva. También muchas fuentes de agua contienen sodio y cloruro; si los niveles son altos, aumentan la salinidad de la solución nutritiva y pueden provocar

toxicidad a las plantas por esta razón que no se recomienda utilizar fertilizantes que contienen cloruros ni sodio. (Ávila y Valdivia, 2002)

Los principales parámetros que se usan para determinar la calidad del agua son:

a) Conductividad Eléctrica (CE)

Es muy importante conocer la CE del agua. La CE mide el contenido total de sales que tiene el agua o la solución nutritiva: a mayor CE mayor contenido de sales y viceversa. La CE se expresa en miliSiemens (mS/cm) o en deciSiemens (dS/m). Los rangos de salinidad del agua son:

<0.5	m S/cm	agua no salina
0.5 – 1.0	m S/cm	Agua de baja salinidad
1.2 --1.5	m S/cm	agua ligeramente salina
>1.5	m S/cm	agua salina

De acuerdo a los valores de CE, las aguas se pueden clasificar en: agua no salina (C1), agua de baja salinidad (C2), agua ligeramente salina (C3) y agua salina (C4) (Richards, 1985)

La CE de una solución nutritiva aumenta alrededor de 2% por cada grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$) de aumento de temperatura, por esta razón, actualmente se utilizan conductivímetros con compensación automática de temperatura (Febres, 1999).

Una solución nutritiva es una mezcla de diferentes sales, donde cada sal contribuye al valor de CE de la solución. Algunas sales como el nitrato de potasio, incrementan más el valor de CE de una solución que otras sales, como el nitrato de calcio o sulfato de magnesio.

Para preparar sustancias nutritivas se recomienda usar aguas no salinas o de baja salinidad (menos de 1.0 mS/cm) aunque también se pueden usar aguas ligeramente salinas (de 1.0 a 1.5 mS/cm). Por otro lado, el empleo de aguas salinas (más de 1.5

mS/cm), bajo ciertas restricciones, solamente debe destinarse a cultivos tolerantes a sales (Richards, 1985).

Por ejemplo son tolerantes el espárrago, espinaca, melón, pepinillo, sandía, tomate; semi tolerantes acelga, albahaca, apio, betarraga, brócoli, cebolla, coliflor, papa, pimiento, rabanito, zanahoria y sensibles berro, fresa y lechuga.

Cuando se agregan los fertilizantes o las soluciones concentradas para preparar la solución nutritiva, la CE de la solución no debería exceder de 2.0 mS/cm, de lo contrario el crecimiento de las plantas podría ser afectado, principalmente en aquellos cultivos que son sensibles a las sales (Richards, 1985).

En los sistemas recirculantes, la concentración de la solución nutritiva del sistema depende de la concentración de sales que tiene la solución de entrada o solución nueva. Si la concentración de nutrientes de la solución de entrada es mayor a la concentración de nutrientes de la solución nutritiva que la planta está absorbiendo, entonces entra más nutrientes al sistema, aumentando la concentración de sales en la solución del sistema. En algunos casos se necesitará agregar más agua, lo cual evitará que se eleve la CE. Sin embargo, si la concentración de sales en la solución nutritiva de entrada es más baja que la que está absorbiendo la planta, entonces la concentración de sales en la solución nutritiva del sistema disminuye. Se recomienda que no sea mayor de 2.0 mS/cm y en verano, no mayor de 1.5 mS/cm (Richards, 1985).

b) Factor de Conductividad (Fc)

En un análisis de agua no se expresa este valor. El Fc es una medida de CE que se utiliza en algunos países, como Australia, Inglaterra, Nueva Zelanda. La equivalencia es $1.0 \text{ mS/cm} = 10\text{Fc}$ ($\text{CE} \times 10$). (Richards, 1985).

c) Total de Sales Disueltas (TSD)

El TSD es la concentración de una solución expresada como peso total de sales disueltas y se expresa en partes por millón (ppm). Una estimación que relaciona la CE y TSD (en ppm), se obtiene con la siguiente expresión matemática (Richards, 1985).

$$\text{TSD (en ppm)} \times 0.64 / 100 = \text{CE (en mS/cm)}$$

d) pH

El pH mide la concentración de iones hidrógeno de una solución; a mayor concentración de iones hidrógeno libres, menor será el pH y viceversa.

El valor de pH permite conocer el grado de disponibilidad de los nutrientes minerales en la solución nutritiva y por lo tanto, su disponibilidad para las plantas. Es importante mantener el pH de la solución nutritiva en un rango ligeramente ácido, de 6.0 a 6.5 dentro de una escala de 0 a 14. El pH variará de acuerdo al tipo de cultivo, estado de crecimiento y a las condiciones ambientales.

Para modificar el pH de una solución nutritiva se puede agregar algún ácido o base. Cuando el pH es alcalino (mayor a 7.0), se agrega ácido y cuando el pH es ácido (menor a 7.0), se agrega una base. El pH cambia continuamente porque las plantas remueven iones de la solución nutritiva (Richards, 1985).

Los cambios en el pH de una solución ocurren a medida que cambia el balance de nutrientes. Por ejemplo en el cultivo de lechuga en un sistema de raíz flotante, inicialmente el pH de la solución nutritiva tiende a elevarse, pero a medida que las plantas empiezan a establecerse y a absorber mayores cantidades de nutrientes, el pH tiende a bajar entre 6.0 – 6.5. Esto indica que una vez que la planta ha empezado una fase de rápido crecimiento, los nutrientes absorbidos por las raíces son aquellos que contribuyen a mantener ligeramente ácida la solución nutritiva. Cuando las plantas remueven iones positivos (Cationes Ca^{++} , K^{+} , éstos son remplazados con iones H^{+} , que son los que disminuyen el pH de la solución. (Richards, 1985).

En un sistema recirculante, como el NFT, el pH tiende a elevarse (mayor a 7.0) y tiene que ser ajustado a 6.5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, sin necesidad de ajustar diariamente el pH.

Para ajustar el pH a un rango óptimo se puede preparar soluciones diluidas de ácido. A mayor concentración de sales en la solución nutritiva, se necesitará mayor cantidad de ácido para reducir el pH. Por ejemplo en cultivos producidos con soluciones con altos valores de CE, como tomate, se requerirá mayores volúmenes de ácido para bajar el pH, que en lechuga cultivada a menor CE. (Richards, 1985).

El valor recomendado de CE, Fc y pH en soluciones nutritivas para lechuga, según Practical Hydroponics y Greenhouse, mencionado por Resh, 2001, es de:

CE	:	0.8	-	1.6
Fc	:	8	-	16
pH	:	6.0	-	6.5

e) Presencia de Sodio

El sodio tiende a acumularse rápidamente en soluciones nutritivas que han sido preparadas con aguas con un alto contenido en sodio. El sodio puede incrementarse a través del suministro continuo de agua en la solución nutritiva, a menos que ésta sea renovada periódicamente (Richards, 1985).

El sodio es uno de los elementos más problemáticos en sistemas recirculantes (NFT) y aún en sistemas abiertos. El sodio en altas concentraciones es tóxico para ciertos procesos en la planta. En hojas reduce la fotosíntesis y reacciones enzimáticas; sin embargo, las plantas tienen la capacidad de bloquear la absorción de sodio dentro de la hoja. (Richards, 1985).

El problema real con el sodio en sistemas recirculantes es que es potencialmente tóxico para las plantas a altos niveles y también a bajos niveles, lo cual contribuye a

elevar los valores de CE de la solución nutritiva, desplazando a los elementos esenciales. (Richards, 1985)

Las fuentes de sodio en el agua son el cloruro de sodio y el bicarbonato de sodio, los cuales contribuyen a elevar la CE de una solución nutritiva. El bicarbonato de sodio contribuye a elevar la CE de una solución nutritiva más que el cloruro de sodio (Richards, 1985).

En sistemas hidropónicos recirculantes, niveles de 50 ppm de sodio pueden ser tóxicos para cultivos como lechuga, fresa, hierbas aromáticas, rosas y otros cultivos de flor cortada. Las plantas tolerantes como el tomate, pueden soportar concentraciones mayores de 250 ppm antes que ocurra algún efecto negativo. (Richards, 1985).

f) Presencia de Boro

El boro es otro elemento común en fuentes de agua y puede acumularse a niveles excesivos en sistemas hidropónicos recirculantes. Si se preparan soluciones nutritivas con aguas que contienen boro, éstas deberán ajustarse a la fórmula de la solución nutritiva (Richards, 1985).

Las concentraciones de boro recomendadas en una solución nutritiva para un sistema recirculante está entre 0.3 y 0.7 mg/l; sin embargo, algunas fuentes de agua pueden contener boro a estos niveles y puede acumularse cada vez que se incrementa agua en la solución nutritiva para evitar su acumulación, se deberá renovar la solución nutritiva periódicamente. Aguas con niveles mayores de 0.7 ppm de boro pueden provocar toxicidad, principalmente en cultivos sensibles al boro (Richards, 1985).

Al igual que el sodio, el boro también puede estar presente en el agua con niveles ligeramente altos y, con un adecuado manejo de la solución nutritiva, se puede recomendar su uso para la producción hidropónica de lechuga. (Richards, 1985)

Los síntomas de toxicidad de boro se presenta con un enroscamiento hacia arriba de hojas jóvenes, llegando a ser frágiles y de color marrón, para luego secarse. Las hojas

nuevas pueden ser pequeñas y pálidas. Las hojas adultas son afectadas primero, luego mueren y caen y en casos extremos con altos niveles de boro, la planta puede morir prematuramente. (Richards, 1985)

Según Richards 1985, son tolerantes al Boro la cebolla, col y espárrago; semi tolerantes la cebada, camote, frijol, girasol, papa, pimienta, rabanito, tomate, trigo y zanahoria y sensibles apio y fresa (Richards, 1985).

g) Carbonatos y bicarbonatos

Se recomienda que el agua esté libre o contenga bajas concentraciones de carbonatos y bicarbonatos. En aguas con alto contenido de carbonatos y bicarbonatos (mayores a 5.0 meq/l), el Ca, Mg, Mn, y el Fe, tienden a precipitarse y al no estar disponibles, las plantas muestran sus deficiencias (Richards, 1985).

h) Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

El RAS es un índice que mide la acumulación de sodio en el agua. La relación se obtiene de la siguiente expresión: (Richards, 1985).

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}} \cdot \frac{1}{2}$$

Donde Na, Ca y Mg, representan concentraciones de iones respectivos en meq/l.

De acuerdo al RAS, las aguas pueden clasificarse en:

Agua baja en sodio (S1), agua media en sodio (S2), agua alta en sodio (S3) y agua muy alta en sodio (S4).

Las aguas con altos niveles en sodio (S3 y S4) pueden producir toxicidad en un gran número de cultivos, principalmente en aquellos cultivos sensibles a las sales. (Richards, L. 1985)

La lechuga es un cultivo que puede llegar a tener rendimientos comerciales altas concentraciones de sodio (60 – 100 ppm) que exceden a los niveles recomendados (10 - 60 ppm). En un experimento realizado en un sistema recirculante con el cultivo de lechuga, se probaron dos fuentes de agua con concentraciones de 9 y 26 ppm de sodio, las concentraciones de sodio en la solución nutritiva aumentaron hasta 20 y 60 ppm, respectivamente, en 20 días. Las lechugas cosechadas de ambas soluciones fueron similares en rendimientos y calidad, no se observaron síntomas de toxicidad de sodio. Es posible que durante el cultivo, las plantas de lechuga, se adaptan a la acumulación gradual de sodio en la solución nutritiva. (Ávila y Valdivia, 2002).

A diferencia de la lechuga, el tomate es tolerante a sales. Esta es una de las razones por qué la calidad del fruto puede ser mejorado cultivando plantas con altos valores de CE en la solución (de 5.0 a 10.0 mS/cm). Altos niveles de cloruro de sodio (ClNa) en la solución nutritiva disminuyen el rendimiento pero mejoran la calidad del fruto en términos de color, vida de almacenamiento, sabor y composición química (peso seco, sólidos solubles totales y acidez, contenido de azúcares reductores, cloro y sodio, pigmentos pericárpicos y CE del jugo) (Ávila y Valdivia, 2002).

El manejo y cambio de la solución nutritiva dependerá de la composición del agua. El cambio de solución nutritiva se realiza debido a los desbalances nutricionales. La razón principal se debe al incremento de elementos potencialmente tóxicos, tales como el sodio y en menor grado el boro, manganeso y hierro. La acumulación de elementos como el sodio y boro, puede ocurrir rápidamente cuando se agrega agua al tanque. (Ávila y Valdivia, 2002)

La acumulación de estos elementos puede causar serios daños al cultivo y pérdidas en el rendimiento y calidad. Una herramienta de manejo es monitorear el elemento problema en la solución nutritiva para decidir cuándo descartarla y renovarla. El monitoreo puede hacerse a través de un medidor de iones específicos o tomar muestras para su análisis en el Laboratorio. (Ávila y Valdivia, 2002)

Si la solución nutritiva tiene la formulación correcta y, si se adiciona soluciones concentradas de acuerdo al requerimiento del cultivo, es poco probable que se

presente alguna deficiencia que limite el crecimiento y desarrollo de éste. (Ávila y Valdivia, 2002)

En sistemas abiertos hay menos riesgos de un desbalance nutricional; sin embargo, en sistemas cerrados sucede todo lo contrario. La CE, el TSD sólo indican la concentración de sales totales y no la concentración específica de cada elemento en una solución nutritiva. (Ávila y Valdivia, 2002)

Algunos de los factores que determinan cuándo cambiar o no la solución nutritiva son: la calidad del agua, la fuente del fertilizante, las condiciones climáticas y el volumen de solución nutritiva por planta en el sistema. A menor volumen de solución y a mayor CE del agua, mayor será la frecuencia de cambio de la solución. Como la tasa de absorción de nutrientes es más lenta en invierno que en verano, la frecuencia de cambio de la solución debe ser menor en invierno y mayor en verano. (Ávila y Valdivia, 2002)

En un sistema recirculante, se recomienda renovar totalmente la solución nutritiva, cada dos semanas en verano, mientras que en invierno puede ser renovada totalmente cada tres o cuatro semanas. En el sistema de raíz flotante, hay mayor consumo de agua en verano, por lo tanto se debe reponer el volumen consumido, sólo con agua, por lo menos dos veces por semana. En invierno, el consumo de agua es menor y es suficiente agregar agua una vez por semana, si es necesario. (Ávila y Valdivia, 2002)

Es preferible controlar periódicamente la CE y el pH antes de decidir si se elimina completamente la solución nutritiva y se reemplazarla por una nueva. (Ávila y Valdivia, 2002)

2.3. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS

GUEVARA, L. (1997) En un estudio realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua con el título "Sistema de Hidroponía y Aeroponía popular como una alternativa de alivio ante la Pobreza", determinó que el cultivo de hortalizas mediante este sistema ofrece una rentabilidad satisfactoria en la mayoría de los cultivos, obteniéndose resultados positivos y la relación beneficio/costo fue de 3.32 para el apio y de 4.34 para la lechuga.

BARREDA, J. (2000). Realizó un trabajo sobre la producción de cebolla con el título "Producción de cebolla (*Allium cepa* L.) cv. "Roja arequipeña" en Hidroponía" determinando que en rendimientos los mejores resultados se lograron en bulbos, alcanzando bulbos de 68 gr. cada uno en promedio, lo que nos lleva a una producción de 28 TM/ha.

AVILA, H. y VALDIVIA, (2002) Efectuaron un trabajo de investigación sobre la "Construcción y Comprobación de tres sistemas de Hidroponía con dos variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en tinglado Huasacache, Hunter- Arequipa" donde probaron tres sistemas hidropónicos, resultando el mejor el sistema NFT (Nutrient Film Technique) alcanzando los mejores resultados en altura de planta con un promedio de 24.23 cm, el número de hojas un promedio de 26.00 unidades por planta y un peso de 158.23 gr./planta. Concluyendo que en este sistema se obtuvieron estos resultados debido a que la raíz de la planta tuvo mejor oxigenación, pues el movimiento del agua producía oxígeno y en los otros dos sistemas no hubo circulación de agua.

OTAZU, V. (2009) En el "Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía" expuso un trabajo de investigación sobre el sistema Aeropónico en el cultivar de papa (*Solanum tuberosum* L.) para la producción de semilla pre-básica en alternativa para el uso del bromuro de metilo, tal investigación se realizó en la ciudad de Lima para el Centro Internacional de la Papa (CIP), obteniendo hasta 70 tuberculillos en tres cultivares teniendo un peso de promedio de 859 gr. por planta.

POLIANA, A. (2009) En un estudio realizado en la Universidad Federal Rural de la Amazonía de Brasil sobre la "Productividad y concentración de Nitrato en Cultivares de Lechuga conducido en sistema Aeropónico en los municipios de Altamira y Belén, en el

Estado de Para- Brasil.", trató sobre la productividad y concentración de nitrógeno en distintos cultivares de lechuga, conducido en un sistema aeropónico donde los mejores resultados fueron observados en la localidad de Altamira con los cultivares Babá- de-Verão y Amanda, estas también presentaron mejores respuesta en la localidad de Belén.

SERVER, ELLIS y DANEEL. (2008) En un estudio de la "Respuesta de raíces de banano a la infección con *Fusarium* del banano", conocido como el Mal de Panamá, desarrollaron un sistema aeropónico, donde la automatización con un timer para el sistema de riego fue regar las plantas fueron 6 veces al día durante dos minutos cada vez con intervalos a las 6.00 am., 9.00 am., 12.00 m. 3.00 pm., 6.00 pm. y 0.00 m. Llegaron a la conclusión que el sistema aeropónico proporciona un método sencillo y no destructivo para estudiar la infección y colonización de las raíces por *F. oxysporum f. sp. cubense* y *R. similis*. El sistema también hace posible realizar estudios histológicos e histoquímicos, ya que se puede manipular el sitio de inoculación y la tasa de infección.

CHEVARRIA, M. (2007). En un trabajo de Investigación sobre la "Producción del cultivo Lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* L.) variedad Walldmans green por el método de raíz flotante utilizando cuatro tipos de agua del fundo La Banda, Huasacache", observó que los mejores resultados en cuanto al comportamiento del cultivo se presentó en el Tratamiento con agua de pozo subterráneo, pese a tener altos valores en C.E y pH. El mejor porcentaje de Materia seca fue con el tratamiento regado con agua potable. El cultivo desarrollado con agua de acequia, presentó valores cercanos a los obtenidos con agua de pozo. El Tratamiento con agua desalinizada tuvo valores bajos en rendimiento, debido a la ausencia de algunos elementos minerales en la composición del agua.

ALVAREZ, R. Y ESCOBEDO, M. (2006). Con el agua desalinizada obtenida de un desalinizador, se probó su calidad con la conducción de un experimento en macetas con el cultivo de lechuga, en la que se probaron tres tratamientos: riego con agua de acequia (T1), riego con agua del subsuelo (T2) y riego con agua desalinizada (T3). El agua desalinizada obtenida del desalinizador, no tiene ninguna clase de restricción para ser utilizada para fines agrícolas, tal como lo demuestran los análisis químicos y los resultados obtenidos en el experimento con el cultivo de lechuga, donde estadísticamente destacó el tratamiento con agua desalinizada (T3) sobre los demás tratamientos.

VERA, J. (2008). En su trabajo de investigación de "Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo", realizado en Ecuador. Se determinó que los mejores resultados obtenidos fueron para altura de planta con la variedad White Boston, para longitud de raíz con la variedad americana y para peso fresco con la variedad americana, determinando que estas poseen una calidad de desarrollo superior a la variedad Hardy.

FLORINDEZ, M. Y SIURA, S. (2012). En el trabajo de Investigación de "Evaluación de Cultivares de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para Producción de Lechuga miniatura y madura bajo Cultivo Orgánico", realizado en Lima- Peru. Se determino que los mejores resultados estadísticamente fueron para altura de planta con las variedades Rosalita y Frekles, y para peso fresco con las variedades Rosalita y Tango.

BARRIOS, N. (2004). En el trabajo de Investigación de "Evaluación del Cultivo de la Lechuga, *Lactuca sativa* L. bajo condiciones Hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala." Se determinó que los mejores resultados se lograron para el mayor promedio de altura de planta con la variedad Grand Rapid seguida por la variedad salina; y para peso freso el mayor promedio de altura de planta lo obtuvo la variedad Salina seguida por Bounty.

CORDOVA, J. (2006) En el estudio de Investigación titulado "Análisis del Crecimiento de la Lechuga" realizado en Riobamba – Ecuador. Se llego a la conclusión de que de las 10 variedades en estudio, 9 fueron las que se aclimataron a las condiciones ambientales de la ciudad de Riobamba y después de ser evaluados por los distintos parámetros, mostraron que dependen principalmente del factor genético, siendo las variedades Grizlle (A8) y Yardená (A10) quienes sobresalieron del resto.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica de Santa María, en el fundo "La Banda" - Huasacache, Distrito de Hunter, Provincia y Departamento de Arequipa. (Fotografía No.01 y No. 02)



FOTOGRAFÍA No.01 Fundo "La Banda", Huasacache, Hunter.

Geográficamente se halla a $16^{\circ} 27' 51''$ de Latitud Sur, $71^{\circ} 34' 30''$ de Longitud Oeste y a una altura media de 2191 m.s.n.m.



FOTOGRAFIA No. 02 Ubicación del campo experimental

3.2. FECHA DE INICIO Y TÉRMINO

La rehabilitación del invernadero tipo túnel y la construcción del sistema aeropónico fue del 16 de agosto 2012 al 14 de Setiembre del mismo año. La fecha de inicio del trabajo de investigación de la respuesta de las tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) fue el 29 de Setiembre del 2012, finalizando con la cosecha el 12 de Noviembre del 2012

3.3. HISTORIA DEL LUGAR EXPERIMENTAL

El invernadero tipo túnel donde se realizó este estudio, fue refaccionado y rehabilitado completamente (Fotografía No. 03 y No. 04), para ello se empleó materiales que se detallan en el Metrado y Presupuesto. (Anexo No.03)



FOTOGRAFIA No.03 Rehabilitación Invernadero Tipo Túnel



FOTOGRAFIA No. 04 Invernadero Tipo Túnel rehabilitado

3.4. CLIMATOLOGÍA

Los datos climáticos se obtuvieron de la Estación Meteorológica de Huasacache, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), estos datos se encuentran en el Anexo No. 1.

La temperatura máxima se registra en el mes de diciembre con 24°C y la más baja en el mes de octubre con 5.8°C ; la humedad relativa máxima se registra en los meses de enero y febrero con 79% y la mínima en octubre con 29% respectivamente.

La evaporación más alta registrada en tanque clase "A" fue de 8.3 mm./día en el mes de noviembre y la mínima en el mes de enero con 3.6 mm./día. El mayor número de horas de sol fue registrado en el mes de octubre con 10.6.

3.5. RECURSO AGUA

a) Calidad de agua:

El agua que se utilizó en el estudio fue potable, esta fue de buena calidad. Presento las siguientes características:

- Ca: 2.000 meq/l
- Mg: 0.333 meq/l
- Ph: 7
- CE: 0.52 mS/cm
- RAS: 1.91
- Dureza: 10
- Indice Scott: Mayor 18 mg/l

3.6. MATERIALES EMPLEADOS Y METODOLOGIA SEGUIDA

3.6.1 MATERIALES

a) Materiales de campo (Sistema Aeroponía) (Anexo No. 04)

- 01 Tanque de PE (polietileno) de 600 Lt. de capacidad.
- 01 Electro bomba de 0,5 HP de potencia, para hacer circular la solución nutritiva.
- 03 Cajones o contenedores de Madera
- 12 Planchas de tecnopor de 2" de grosor
- 20 m. de plásticos negros de 3 m. de ancho x 1.0 mm. de espesor
- 12 m. de plásticos blancos de 3 m. de ancho x 1.0 mm. de espesor
- 60 Nebulizadores
- 01 Programador de riego o "Timer"
- 15 m. de cable eléctrico N° 12
- 01 Válvula Check
- 01 Libreta de Campo.
- 01 Cinta métrica.
- 01 Calibrador vernier

- 01 Rastrillo.
- 01 Lampa.
- 01 Barreta
- 01 Carretilla.
- Bolsas de Polietileno.
- 01 Baldes.
- 01 kg. de clavos.
- 01 Martillo.
- 01 Sierra Metálica.
- 90 m. de malla rashell

b) Material biológico

El material biológico estuvo constituido por tres variedades de lechuga, que fueron adquiridas de la empresa SEMIAGRO S.A..

- Lechuga Variedad Waldmanns Green
- Lechuga Variedad EM Mariposa:
- Lechuga Variedad Red salad Bowl

c) Material de Laboratorio

- Dosis de Solución nutritiva La Molina, (Fotografía No. 05 y No. 06)
- Balanza de precisión

d) Material de Escritorio

- Cámara Fotográfica
- Lapiceros
- Computadora
- Hojas de papel Bond.
- Reglas.
- Calculadora.
- Libreta de Campo

3.6.2 METODOLOGIA SEGUIDA

Primeramente se rehabilito el vivero tipo túnel con una cubierta nueva (malla rashell). Posteriormente se construyeron 3 cajones también llamados contenedores, empleando madera. Estos cajones o contenedores tuvieron una altura de 1.00 m. sobre el nivel del suelo, 2.40 m. de ancho y un largo 3.60m. Estos presentaron una pendiente de manera que cuando estuvo operando el sistema de riego, el líquido sobrante de la nebulización debió regresar por gravedad al tanque de polietileno contenedor de la solución nutritiva. Los cajones fueron recubiertos con tecnopor y plástico de color blanco y negro. Sobre los cajones se colocó una cubierta superior de tecnopor, la cual tuvo agujeros para la fijación de las plántulas. En la parte superior de los cajones se ubicó el sistema de nebulización, el mismo que posteriormente serviría para realizar el riego del cultivo. El tanque de polietileno y la electrobomba fueron colocados en la parte externa lateral del sistema, estando el tanque de polietileno por debajo del nivel del suelo para recibir el exceso de la solución nutritiva del riego.

Las plántulas según Avila. y Valdivia, (2002), presentaron la edad y tamaño adecuado, estas no fueron viejas ni amarillentas, estuvieron libres de enfermedades. Se consideraron dichas características para el presente trabajo de investigación.

Previamente a iniciarse el riego en este sistema, se realizó un tratamiento de desinfección al agua de riego mediante la aplicación de Hipoclorito de Sodio (NaClO) a 5.25 %, en cantidad de 500 ml para el contenido de 600 litros del tanque de polietileno.

a) Transplante

Las plántulas fueron adquiridas de la firma comercial SEMIAGRO S.A. Estas fueron de las variedades Waldmanns Green, EM Mariposa y Red Salad Bowl. Estas 3 variedades se trasplantaron al Sistema Aeropónico del invernadero cuando se formaron 3 a 4 hojas verdaderas con una edad de 2 a 3 semanas.

El 29 de Setiembre del 2012 se colocaron en la cubierta de tecnopor superior de los cajones, en agujeros de $\frac{1}{2}$ " distanciados 20 x 20 cm. Se empezó el riego en forma diaria con el sistema de nebulización. En esta etapa y durante todo el periodo

vegetativo de lechuga, se abasteció sustancias nutritivas en el líquido de riego.

b) Fertilización

Para la fertilización se empleó la Solución Nutritiva La Molina, la cual estuvo compuesta por dos partes. La Solución A y la Solución B, estas tuvieron los siguientes componentes.

Solución A

Nitrato de amonio	=	30.0 gr/100 litros
Superfosfato triple	=	25.0 gr/100 litros
Nitrato de potasio	=	76.5 gr/100 litros



FOTOGRAFIA No. 05 Nutrientes Solución "A"

Solución B

Sulfato de magnesio	=	41.60 gr/100 litros
Quelato de hierro	=	2.20 gr/100 litros
Quelato de zinc	=	0.22 gr/100 litros
Quelato de manganeso	=	0.83 gr/100 litros
Quelato de Cobre	=	0.04 gr/100 litros
Ácido bórico	=	0.285 gr/100 litros



FOTOGRAFIA No.06 Nutrientes Solución "B"

c) Riegos

En este sistema, los riegos fueron a través de un sistema de nebulización, controlados por un Programador de tiempos (timer), con un tiempo y frecuencia de 30 segundos cada 3 minutos, este riego se realizó en forma diaria.

d) Control Fitosanitario

Dado los beneficios del sistema aerónico y el aislamiento de los factores externos gracias al invernadero, a lo largo del estudio no se presentaron plagas ni enfermedades en el cultivo de lechuga.

e) Cosecha

A los 45 días de haberse trasplantado, se procedió a realizar la cosecha (12/11/2012), en forma simultánea para cada uno de los 3 tratamientos, para lo cual fue necesario sacar al azar 10 plantas de lechuga de cada variedad; se tomaron los datos de altura de planta, longitud de raíz, se evaluó el peso del cultivo en verde y el peso en seco.

3.7. COMPONENTES EN ESTUDIO

Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

a) Variedad Waldmanns Green

La variedad Waldmanns green no forma cabeza, solo una roseta de hojas por lo que pertenece a la clasificación de lechugas de hojas sueltas o lechuga de hoja. Sus hojas son duras y dispersas. Son de color verde de 20 a 30 cm. de largo y su sabores suave, agradable y fresco. Son plantas fáciles de cultivar, muy vigorosas en cultivos hidropónicos, necesitan entre 45 y 60 días para madurar y su marco de plantación y temperatura son parecidos a los de lechuga europea. Estas necesitan temperaturas de 10° a 13° C y 13°C a 21°C durante el día, dependiendo de la intensidad lumínica, sin embargo soportan altas temperaturas como de 27 °C, sin disminución del desarrollo, pero en temperaturas altas producirían quemaduras en las puntas de las hojas o en los bordes. (Avila y Valdivia, 2002)

b) Variedad EM Mariposa

Nueva variedad de producción a campo abierto, de hojas lisas y color verde oscuro. EM Mariposa presenta una amplia adaptación y considerable resistencia a la floración. De excelente calidad, peso promedio alto, muy uniforme y tolerante a enfermedades del follaje (Avila y Valdivia, 2002).

c) Variedad Red salad Bowl

"Hoja de Roble": Variedad de precocidad media. Hojas de color rojo bronce, ovales, largas, divididas, de rizado medio, muy tierna. Planta voluminosa, de porte abierto, lenta a subir. Apreciada en ensaladas por su bonito colorido. Para la cosecha: recoger hojas tiernas y grandes a medida que se van produciendo (Ávila y Valdivia, 2002).

3.8. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

- ❖ T1 = Variedad Red salad Bowl
- ❖ T2 = Variedad Waldmanns Green
- ❖ T3 = Variedad EM Mariposa



FOTOGRAFIA No. 07 Vista de las tres variedades de Lechuga

3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño empleado fue Completamente al azar con tres tratamientos y diez repeticiones por cada tratamiento. (Vásquez, 1990)

Variedad de lechuga	Tratamiento	Repetición
Red Salad Bowl	T1	R1
		R2
		R3
Waldmanns Green	T2	R1
		R2
		R3
EM Mariposa	T3	R1
		R2
		R3

3.10. CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES

- Número de Tratamientos: 3
- Número de Repeticiones: 10 por tratamiento
- Número de Plantas por Cajón o contenedor: 75
- Área de la unidad experimental: 3.60 m^2
- Distanciamiento entre plantas: $20 \text{ cm.} \times 20 \text{ cm.}$
- Número de Cajones Experimentales: 3
- Área de experimento: 16 m^2

3.11. CROQUIS DEL EXPERIMENTO (Anexo N° 8)

3.12. MODULO DEL SISTEMA AEROPÓNICO

3.12.1. Materiales empleados en los cajones

El módulo aeropónico se construyó entre el 16 de Agosto del 2012 y el 14 de setiembre del mismo año.

Para la construcción de cajones se puede considerar varias opciones de acuerdo a la disponibilidad de materiales y su costo. El armazón de la estructura fue construida de madera. Esta madera fue de tipo Tornillo y tuvo dimensiones de $2" \times 2"$.

Para rellenar el armazón se utilizó un material que además de tener propiedades aislantes le dio un soporte mecánico a la estructura. Este material fue el tecnopor. También pudo usarse planchas de cartón o aserrín prensado. Todo este material de relleno tuvo que ser recubierto con plástico. (Fotografía No. 07)



FOTOGRAFIA No. 08 Estructura de madera de los contenedores

3.12.2. Construcción de cajones o contenedores

Los cajones contruidos de madera tuvieron 1 metro de altura con referencia al suelo, un largo de 3.60 metros y un ancho de 2.40 metros.

Estos cajones tuvieron una pendiente de manera que cuando el sistema estuvo en operación, el líquido sobrante de la nebulización regresara al tanque de polietileno por acción de gravedad.

El piso y la parte lateral del interior de los cajones fueron impermeabilizados con un plástico negro grueso para evitar goteras o filtraciones.



FOTOGRAFIA No. 09 Colocación de tecnopor en los contenedores

Para colocar este plástico se tuvo que contar con un soldador de plástico. La parte externa de las tapas fueron recubiertas con un plástico transparente para evitar concentración de calor y dar más luminosidad a las plantas. El interior de las tapas o cubiertas de los cajones fue recubierto totalmente con plástico negro para evitar la entrada de luz al sistema radicular de las plantas. El mismo plástico negro delgado se empleó para las cortinas dobles laterales de las ventanas.



FOTOGRAFIA No. 10 Tapas de tecnopor con plástico negro



FOTOGRAFIA No. 11 Contenedor impermeabilizado y sistema de riego

3.12.3. Distribución de cajones o contenedores

La distribución de cajones en el invernadero se hizo realizando un uso eficiente del espacio, brindando comodidad para el operador del sistema.

La distribución de plantas en los cajones también fue importante. Esto tuvo que ver con los cultivos producidos. La disponibilidad de materiales también fue considerado. La electro bomba tuvo la potencia adecuada para alimentar cajones largos y numerosos. En ese caso las plantas ubicadas al final, recibieron la suficiente cantidad de agua y nutrientes, pues los últimos nebulizadores tuvieron la presión necesaria.



FOTOGRAFIA No. 12 Distribución de contenedores o cajones

3.12.4. Instalación eléctrica y de agua de riego

Se tuvo una conexión de electricidad independiente para el módulo. Se dispuso de una fuente alterna de electricidad, la cual estuvo disponible todo el tiempo para emergencias en casos de cortes de energía eléctrica. Se tuvo en cuenta que el módulo con plantas no debió estar sin energía eléctrica por más de una hora,

especialmente en horas de calor. Se consideró una electro bomba de 1 HP por modulo.



FOTOGRAFIA No. 13 Electro bomba y equipo hidroneumático

La bomba estuvo conectada a un tanque de polietileno de 600 L que contenía la solución nutritiva. La capacidad del tanque dependió del tamaño de los cajones. La parte superior del tanque estuvo por debajo del nivel más bajo de los cajones de manera que la solución nutritiva sobrante de los nebulizadores retornase a él por acción de la gravedad. Se trabajó con dos llaves de bola externas. Una de ellas cerraba la entrada de nutrientes a los cajones. La otra se empleó cuando se requirió renovar la solución nutritiva. Cerrando la primera y abriendo la segunda se lograba desalojar la solución no deseada del tanque. Esta llave también sirvió para "cebar" la bomba antes de prenderla. La salida del desagüe se ubicó en la parte más baja de los cajones.



FOTOGRAFIA No. 14 Electrobomba, equipo hidroneumático y reservorio de agua

3.12.5. PROGRAMADOR DE TIEMPO

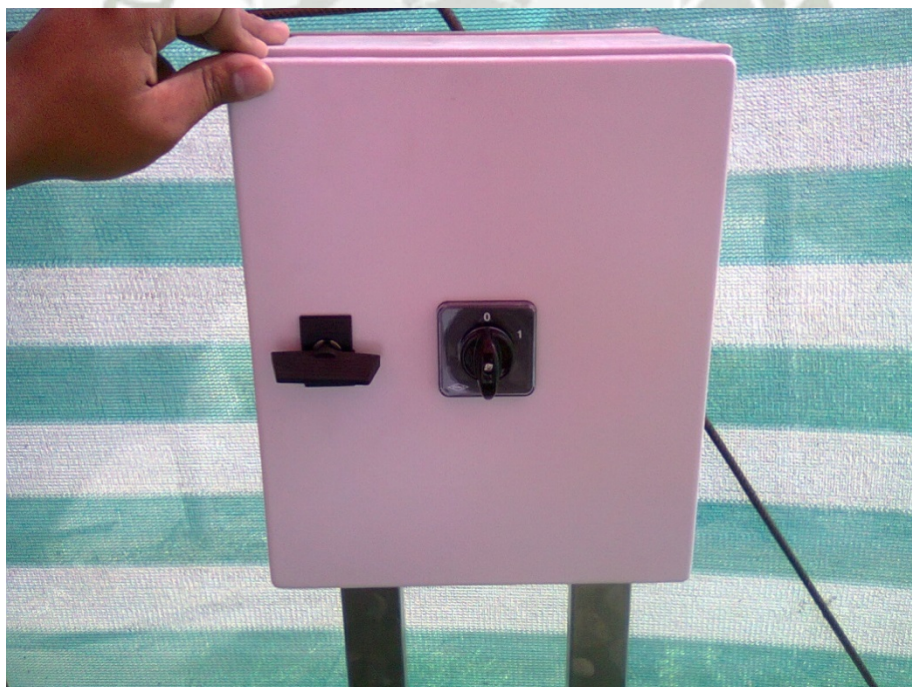
Estos programadores de tiempo (timer) pueden ser calibrados según lo requerido.

En el estudio de Comprobación de tres Sistemas de Hidroponia, de Avila y Valdivia, la circulación de la solución nutritiva en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) fue programada para activar el timer durante 15 minutos cada 30 minutos obteniendo así buenos resultados.

La programación del timer para la circulación de la solución nutritiva en el presente proyecto para la producción de lechuga bajo el sistema aeropónico fue de 30 segundos cada 3 minutos. (Fotografía No. 13 y No.14)



FOTOGRAFIA No. 15 Programador de tiempo de riego (TIMER)



FOTOGRAFIA No. 16 Programador de tiempo en interior de Invernadero

3.12.6. NEBULIZADORES

Para el sistema de nebulización se utilizaron nebulizadores de Polietileno (P.E) marca NAAN de fabricación israelí, con una descarga de 4 l/hr.



FOTOGRAFIA No. 17 Sistema de riego con nebulizadores



FOTOGRAFIA No. 18 Funcionamiento con nebulizadores

El Metrado y Presupuesto del Módulo hidropónico, así como el costo de la conducción de este trabajo se detallan en el Anexo No. 03.

3.13. EVALUACIONES REALIZADAS

3.13.1. Operación y funcionamiento del sistema aeropónico

Se evaluó el diseño, la operación y el funcionamiento del sistema aeropónico, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Rehabilitación del invernadero
- Operación del sistema de riego
- Operación del timer
- Operación de los nebulizadores

3.13.2. Altura de planta

La altura de planta se determinó en el momento de la cosecha. Para esto se tomaron 10 plantas al azar de cada variedad de lechuga. Se procedió a medir la longitud desde el cuello hasta el ápice de cada una de ellas, expresándose los resultados en cm.



FOTOGRAFIA No. 19 Altura de plantas de Lechuga

3.13.3. Longitud de raíz

La longitud de raíz se obtuvo tomando la longitud desde el cuello de la planta hasta el extremo de las raíces; se realizó la medición en las mismas 10 plantas tomadas al azar de la evaluación anterior, expresándose los resultados en cm.



FOTOGRAFIA No. 20 Longitud de raíces en sistema aeropónico

3.13.4. Peso de materia fresca

La evaluación del rendimiento en peso de materia fresca se realizó en el momento de la cosecha. Se tomaron 10 plantas al azar de cada variedad de lechuga para pesarlas en una balanza de precisión 0.1 gr., el peso se realizó a la planta completa incluyendo las raíces, expresándose los resultados en gramos por lechuga.



FOTOGRAFIA No. 21 Peso en verde de la Variedad Red Salad Bowl

3.13.5. Evaluación de rendimiento en peso seco

Los datos de rendimiento de peso seco se tomaron en las mismas plantas tomadas al azar de la evaluación de rendimiento de materia fresca, separando las variedades para luego colocarlas en una estufa a una temperatura de 105°C . durante 24 horas, para después proceder a pesar, expresando los resultados en gramos.

3.14. PROCESAMIENTO DE DATOS

El Análisis de Varianza (ANVA) se efectuó tomando como base los resultados obtenidos de altura de planta, profundidad de raíces, peso en verde y peso en seco. La prueba estadística empleada fue la de "F" y los valores calculados se compararon con el de las Tablas respectivas al nivel de 5% de probabilidades; para comparar los promedios de tratamientos que resultaran significativos, se empleó la Prueba de Rango Múltiple de Duncan a un nivel de 0.05.

IV. RESULTADOS

4.1. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, EVALUACION Y COMPROBACIÓN DEL SISTEMA AEROPÓNICO

El diseño del sistema aeropónico construido para este estudio, se realizó en base al propuesto por Otazú (2009), en su Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía en Huancayo (Centro Internacional de la papa), con resultados satisfactorios.

Los materiales empleados en los contenedores o cajones del Sistema aeropónico, como la madera, el tecnopor y el plástico fueron de buena calidad y cumplieron su objetivo, ya que por su parte la madera fue lo suficientemente resistente al peso del sistema sin producirse ningún daño ni deformación en esta a lo largo del estudio; y el tecnopor y el plástico fueron completamente eficientes para impermeabilizar y proteger el sistema.

Los contenedores o cajones, se fabricaron de acuerdo a las dimensiones que figuran en los planos de diseño, teniendo en cuenta el área útil del Invernadero Tipo Túnel, siendo dichas dimensiones muy adecuadas y útiles para el sistema aeropónico.

Los cajones fueron distribuidos e instalados, de tal manera que el operador del sistema, tuvo facilidad y comodidad para el desplazamiento dentro del invernadero Tipo Túnel.

La instalación eléctrica tuvo un funcionamiento satisfactorio, teniendo disponibilidad de energía eléctrica para la electro bomba, el equipo hidroneumático y el Programador de tiempo (timer) durante todo el periodo del estudio, sin presentarse inconveniente alguno.

El agua empleada para el riego que fue potable, no presento ningún inconveniente para el desarrollo de las tres variedades de Lechuga. Las características de dicha agua se muestran en los análisis respectivos.

El Programador de riegos o Timer funcionó de acuerdo a la programación establecida, en frecuencia y duración, sin producirse ningún desperfecto en su funcionamiento a lo largo del estudio.

El funcionamiento del sistema de nebulización con retorno, en el que se aplicaba el agua de riego con los nutrientes, fue optimo ya que el sistema tuvo la suficiente presión proporcionada por la electro bomba y el sistema hidroneumático, la cual fue de 2.0 Kg/cm y arrojó un caudal de 4 l/hr; teniendo con todo esto una correcta nebulización del agua.

4.2. ALTURA DE PLANTAS EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

En el Anexo No. 4, puede observarse que la mayor altura de plantas se presenta en el Tratamiento 3 (EM Mariposa), con 27.70 cm. en promedio. El Tratamiento T2 (Waldmanns green), con 23.82 cm. y el Tratamiento T1 (Red salad Bowl), con 22.08 cm. en promedio.

En el Cuadro No.01, se muestra el Análisis de Varianza (ANVA) para la altura de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Se puede observar que existen diferencias significativas entre Tratamiento, para un nivel de significación del 5%.

CUADRO No. 01 Análisis de Varianza (ANVA) para altura de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campaña de Arequipa. 2012

Fuente de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	P > F
Tratamientos	2	165.555	82.777	11.88 *	0.00
Error	27	188.032	6.964		
Total	29	353.588			

C.V = 10.76 %

* = Diferencia Significativa.

En el Cuadro No. 02, se presenta la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para altura de plantas en Lechuga (*Lactuca sativa* L.), para un nivel de significación del 95% de probabilidades, donde se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos en estudio, obteniéndose que el más alto valor es para el Tratamiento T3 (Lisa) con 27.70 cm. de altura en promedio.

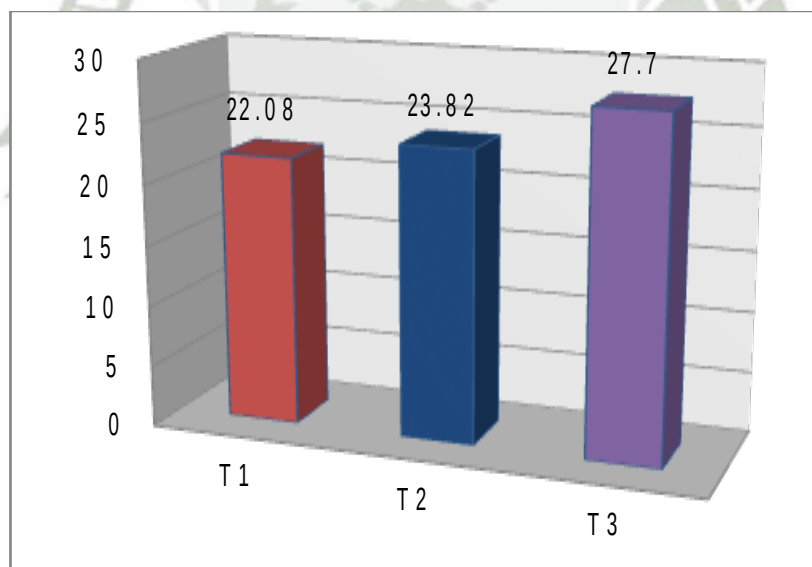
En el Gráfico No. 1, se indica la representación gráfica para altura de plantas en Lechuga (*Lactuca sativa* L.).

CUADRO No. 02 Prueba de Rango Múltiple de Duncan para altura de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aerónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2011

Tratamientos	Promedio altura en cm.	Significancia $\alpha = 0.05$
T3	27.70	a
T2	23.82	B
T1	22.08	B

NOTA: Letras iguales indican que no hay significación estadística.

GRÁFICO No. 1 Altura de plantas en Lechuga (*Lactuca sativa* L.)



4.3. LONGITUD DE RAÍCES EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

En el Anexo No. 5, puede observarse que la mayor longitud de raíces aparece en el Tratamiento T2 (Waldmanns green), con 66.80 cm. en promedio. Los Tratamientos T1

(Red salad Bowl) y Tratamiento T3 (EM Mariposa), logran alcanzar 57.80 cm. y 49.10 cm. en promedio, respectivamente.

En el Cuadro No. 03, se muestra el Análisis de Varianza (ANVA) para la Longitud de raíces en Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Se puede observar que existen diferencias significativas entre tratamientos, para un nivel de significación del 5%.

CUADRO No. 03 Análisis de Varianza (ANVA) para longitud de raíces de plantas de lechuga. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012

Fuente de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	P > F
Tratamientos	2	1566.602	783.301	16.495*	0.00
Error	27	1282.102	47.485		
Total	29	2848.703			

C.V = 11.90 %

* = Diferencia Significativa.

NS = No Diferencia Significativa.

En el Cuadro No. 04, se presenta la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para la Longitud de raíces en Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para un nivel de significación del 95% de probabilidades, donde se observa que existe diferencias significativas entre los tratamientos en estudio, obteniéndose el más alto valor en el Tratamiento T2 con 66.80 cm. en promedio.

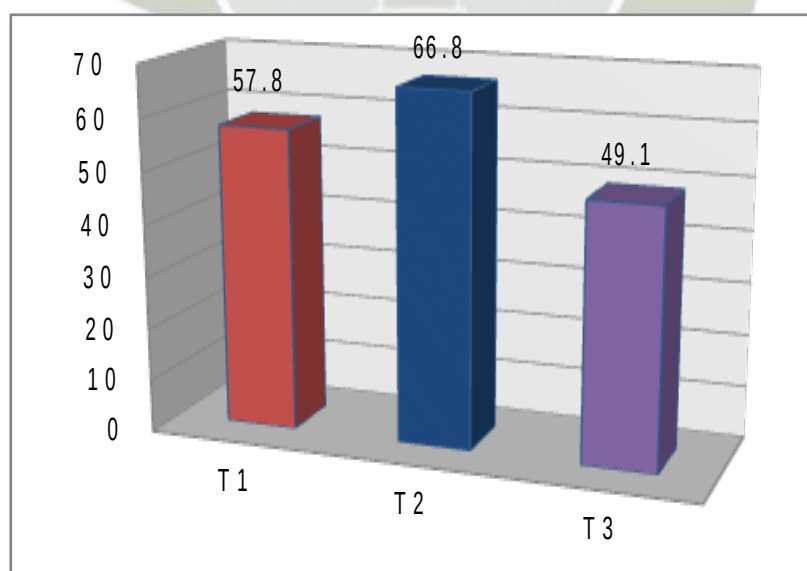
En el Gráfico No. 2, se indica la representación gráfica de la longitud de raíces para Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

CUADRO No. 04 Prueba de Rango Múltiple de Duncan para Longitud de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2011

Tratamientos	Promedio longitud raíces en cm.	Significancia $\alpha = 0.05$
T2	66.80	a
T1	57.80	b
T3	49.10	c

NOTA: Letras iguales indican que no hay significación estadística.

GRÁFICO No. 2 Longitud de raíces en plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)



4.4. PESO FRESCO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

En el Anexo No. 6, puede observarse que el mayor peso por planta de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) aparece en el Tratamientos T2 (Waldmanns green), con 236.20 gr. De peso fresco por planta en promedio. Los Tratamientos T3 (EM Mariposa) y T1 (Red salad Bowl), alcanzaron 197.75 gr. y 202.20 gr. por planta, respectivamente.

En el Cuadro No. 05, se muestra el Análisis de Varianza (ANVA) para el peso fresco de Lechuga (*Lactuca sativa* L.). Se puede observar que existen diferencias significativas entre tratamientos, para un nivel de significación del 5%.

CUADRO No. 05 Análisis de Varianza (ANVA) para Peso fresco de plantas de Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012

Fuente de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	P > F
Tratamientos	2	8847.250	4423.625	1.595*	0.00
Error	27	74863.375	2772.718		
Total	29	83710.625			

C.V= 24.83 %

*= Diferencia Significativa.

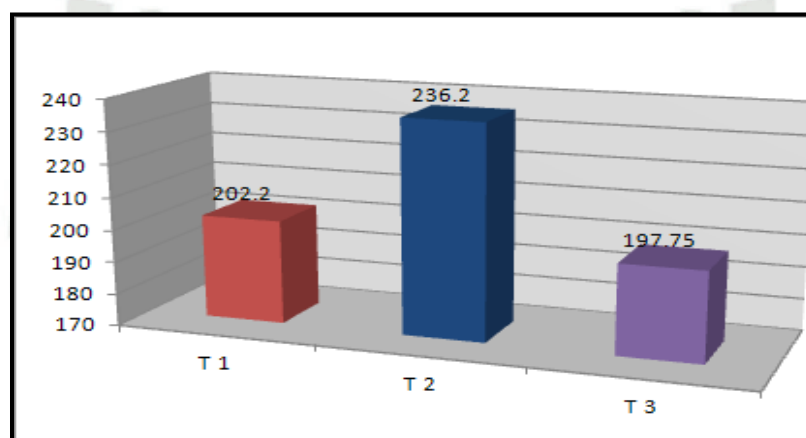
NS= No Diferencia Significativa.

CUADRO No. 06 Prueba de Rango Múltiple de Duncan para Peso fresco de plantas en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. 2012

Tratamientos	Promedio longitud raíces en cm.	Significancia $\alpha = 0.05$		
T2	236.2	A		
T1	202.2		b	
T3	197.75			c

En el Gráfico No. 3, se indica la representación gráfica para el Peso fresco de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

GRÁFICO No.3 **Peso fresco de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)**



4.5. PESO SECO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

En el Anexo No. 7, puede observarse que el mayor peso de lechuga seca aparece en el Tratamientos T2 (Waldmanns green), con 92.24 gramos por planta en promedio. Los Tratamientos T3 (EM Mariposa) con 73.37 gr. y T1 (Red salad Bowl) con 47.91 gr.

En el Cuadro No. 06, se muestra el Análisis de Varianza (ANVA) para el peso seco de Lechuga (*Lactuca sativa* L.). Se puede observar que existen diferencias significativas para los Tratamientos en estudio, para un nivel de significación del 5%.

CUADRO No.06 Análisis de Varianza (ANVA) para Peso seco de plantas de Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campaña de Arequipa. 2012

Fuente de Variabilidad	G.L	S.C	C.M	Fc	P > F
Tratamientos	2	9897.594	4948.797	227.33*	0.000
Error	27	587.781	21.770		
Total	29	10485.375			

C.V= 6.56 %

*= Diferencia Significativa.

NS= No Diferencia Significativa.

En el Cuadro No. 07 se presenta la Prueba de Rango Múltiple de Duncan para el Peso en seco de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para un nivel de significación del 95% de probabilidades, donde se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos, sobresaliendo significativamente el Tratamiento T2 con 92.24 gr. por planta en promedio.

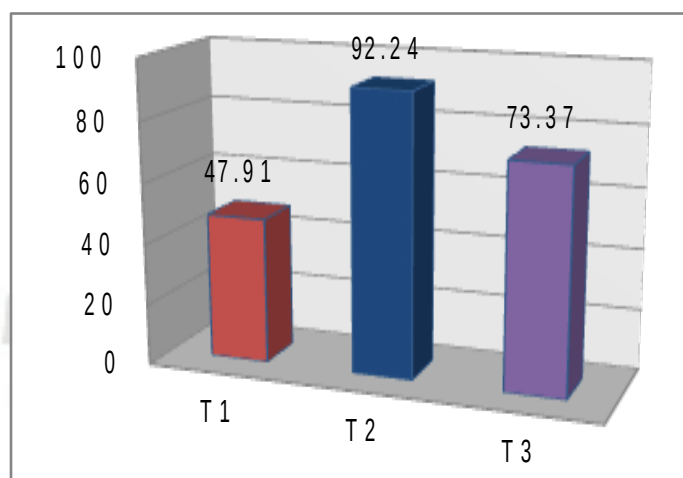
En el Gráfico No. 4, se indica la representación gráfica para el Peso en seco de Lechuga (*Lactuca sativa* L.).

CUADRO No.07 Prueba de Rango Múltiple de Duncan para Peso seco de plantas de Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campaña de Arequipa. 2011

Tratamientos	Promedio Peso seco plantas en gr.	Significancia $\alpha = 0.05$
T2	92.24	a
T3	73.37	b
T1	47.91	c

NOTA: Letras iguales indican que no hay significación estadística.

GRÁFICO No. 4 Peso seco de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)



CUADRO No. 08 Resumen de los parámetros evaluados en Lechuga. Respuesta de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa, 2011

Tratamientos	Altura plantas cm	Longitud raíces cm.	Peso fresco Kg/planta	Peso seco Kg/planta
T1	22.08 B	57.80 B	202.20 B	47.91 C
T2	23.82 B	86.80 A	236.20 A	92.24 A
T3	27.70 A	49.10 C	197.75 B	73.37 B

NOTA: Letras iguales indican que no hay significación estadística.

V. D I S C U S I Ó N

1. Se realizó el diseño, construcción, evaluación y comprobación del Sistema Aeropónico. La reconstrucción y rehabilitación del Invernadero Tipo Túnel existente en las instalaciones del Fundo, el diseño, los materiales y la construcción se realizó teniendo en cuenta lo manifestado en el Manual de Producción de semilla de Papa de calidad usando Aeroponía. Otazú, 2009.

La densidad de trasplante en los contenedores fue de acuerdo al trabajo de investigación de Comprobación de tres Sistemas de Hidroponía de Avila y Valdivia, (2002).

La distribución de los contenedores se realizó teniendo en cuenta el área disponible dentro del invernadero, en base a lo manifestado en el Manual de Producción de semilla de Papa de calidad usando Aeroponía. Otazú, 2009 (Otazú,2009).

La instalación eléctrica, el uso y programación del Programador de riegos se realizó en base a lo manifestado en el Manual de Producción de semilla de Papa de calidad usando Aeroponía. Otazú, 2009.

Todos los factores y materiales mencionados anteriormente tuvieron un desenvolvimiento y funcionamiento exitoso, por lo que la biografía mencionada resulto una influencia adecuada y beneficiosa para el desarrollo de la investigación.

2. Para la altura de planta estadísticamente el Tratamiento T3 (EM Mariposa) alcanzó la mayor altura promedio de plantas con 27.4 cm. y posiblemente se deba a características genéticas o en su defecto a que aprovechó mejor los nutrientes disueltos en el agua de riego y que hubo una constante recirculación.

- En el estudio que realizaron Avila y Valdivia, (2002), sobre la comprobación de tres sistemas de hidroponía, en altura de plantas sobresalen estadísticamente los Sistemas Raíz Flotante con 24.23 cm y Sustratos con 23.43 cm. no habiendo significación entre ellos pero sí con el Sistema de Hidroponía NFT (Nutrient Film Technique) que alcanzo un promedio de 18.30 cm. de altura. En

cuanto a Variedades, significativamente mayor fue Red Salad Bowl con 25.77 cm. frente a Martina que tuvo 18.20 cm en promedio.

El mayor promedio de altura de planta para el sistema aeropónico fue de 27.4 cm con la variedad EM Mariposa, siendo este superior al mayor promedio para el sistema hidropónico que fue de 25.77 cm con la variedad Red Salad Bowl.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad EM Mariposa, es posible obtener un promedio superior de altura de planta que con los sistemas hidropónicos.

- En el trabajo de Investigación de "Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo", realizado por Vera Mosquera, (2008), se tiene que en los promedios de altura de planta; el tratamiento T3 (White Boston), alcanzó el mayor valor en altura de planta con 32.58 cm, siendo superior estadísticamente al resto, el menor valor lo dio el tratamiento T4 (Amorix) con 20.38 cm y siendo estadísticamente igual al tratamiento T1 (Americana), con un valor de 21,68 cm.

El mayor promedio de altura de planta para el sistema aeropónico fue de 27.4 cm. con la variedad EM Mariposa, el cual fue superado por el mayor promedio para el sistema hidropónico que fue de 32.58 cm con la variedad White Boston. Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico no necesariamente se obtendrá un promedio superior de altura de planta que con los sistemas hidropónicos, ya que la principales ventajas del sistema aeropónico no están referidas a un mayor desarrollo foliar en altura, sino se centran en lo que respecta a una mayor calidad y sanidad del cultivo.

- Barrios, N. En el trabajo de Investigación de "Evaluación del Cultivo de Lechuga, (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones Hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala". Se determinó que el mayor promedio de altura de planta lo obtuvo la variedad Grand Rapid con 23.00 cm., seguida por

salina con 19.48 cm. y la que obtuvo el menor resultado promedio fue la variedad Bounty con 19.41 cm.

El mayor promedio de altura de planta para el sistema aeropónico fue de 27.4 cm. con la variedad EM Mariposa, siendo este superior al mayor promedio para el sistema hidropónico que fue de 23.00 cm con la variedad Grand Rapid.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad EM Mariposa, es posible obtener un promedio superior de altura de planta que con los sistemas hidropónicos.

- En el trabajo de Investigación de Evaluación de Cultivares de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para Producción de Lechuga miniatura y madura bajo Cultivo Orgánico. Florindez, M. y Siura, S. 2012. Se determinó que estadísticamente en los promedios de altura de planta de lechuga sembrada por método tradicional sobresalieron las variedades Rosalita con 26.8 cm y Freckles con 24.2 cm, teniendo estas los mejores promedios; y la variedad Tango tuvo un promedio de 11.8 cm siendo esta la que obtuvo el más bajo resultado.

El mayor promedio de altura de para el sistema aeropónico fue de 27.4 cm. con la variedad EM Mariposa, siendo este superior al mayor promedio para el sistema de agricultura tradicional que fue de 26.80 cm. con la variedad Rosalita.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad EM Mariposa, es posible obtener un promedio superior de altura de planta que con los sistema de producción de agricultura tradicional.

- En el trabajo de Investigación. Guaman, r. 2010. "Estudio Bioagronómico de 10 cultivares de Lechuga de Cabeza (*Lactuca sativa* L.), utilizando dos tipos de Fertilizantes Orgánicos, en el Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo". Se obtuvo que el mayor promedio de altura de plantas se tuvo con la variedad Esmerald con 17.33 cm, seguido por la variedad Great Lakes 659 con 16.30 cm, teniéndose el menor resultado en la variedad Mirella con 14.03 cm.

El mayor promedio de altura de para el sistema aeropónico fue de 27.4 cm. con la variedad EM Mariposa, siendo este superior al mayor promedio para el sistema hidropónico que fue de 17.33 cm para la variedad Esmerald.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad EM Mariposa, es posible obtener un promedio superior de altura de planta que con los sistemas hidropónicos.

3. Para la longitud de raíz en lechuga el tratamiento T2 (Waldmanngree) alcanzó la mayor longitud de raíces promedio de plantas con 66.50 cm. y se deba posiblemente a características genéticas o en su defecto a que aprovechó mejor los nutrientes disueltos en el agua de riego y que hubo una constante recirculación.

- En el estudio que realizaron Avila y Valdivia, 2002, sobre la comprobación de tres sistemas de hidroponía, en profundidad de raíces, estadísticamente sobresale el sistema NFT (Nutrient Film Technique) con 21.03 cm. frente a los sistemas raíz flotante con 18.23 cm. y sustratos con 17.53 cm. no existiendo significación entre éstas. En cuanto a Variedades, significativamente mayor fue Red Salad con 51.00 cm. frente a Martina que tuvo 47.30 cm en promedio.

El mayor promedio de longitud de raíz para el sistema aeropónico fue de 66.50 cm con la variedad Waldmanns Green, siendo este superior al mayor promedio obtenido por el sistema hidropónico NFT que fue de 25.77 cm con la variedad Red Salad Bowl.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, es posible obtener un promedio superior de longitud de raíz, que con los sistemas hidropónicos Raíz Flotante, Sustratos y NFT.

- En el trabajo de Investigación de Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) sembradas mediante

sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo, realizado por Vera Mosquera, (2008), se tiene que en longitud de raíz, el tratamiento T1 (Americana) posee el valor mas alto 27.86 cm. siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, el menor valor se dio en el tratamiento 3 (White Boston) con una longitud de 16.30 cm pero estadísticamente igual al tratamiento 4 (Amorix) con 18,73 cm

El mayor promedio de longitud de raíz para el sistema aeropónico fue de 66.50 cm con la variedad Waldmanns Green, siendo este superior al mayor promedio obtenido por el sistema hidropónico Raíz Flotante que fue de 27.86 cm con la variedad Americana.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, es posible obtener un promedio superior de longitud de raíz, que con el sistema hidropónico Raíz Flotante.

4. Para el peso fresco de lechuga estadísticamente el tratamiento T2 (Waldmanns green) alcanzó el mayor peso fresco de lechuga promedio con 236.20 gr./planta , se deba posiblemente a características genéticas o que tuviera un aprovechamiento óptimo de los nutrientes abastecidos por la solución nutritiva empleada en el sistema.

- Avila y Valdivia 2002, para el mismo estudio, reportan que hubo significación estadística entre los tres Sistemas Hidropónicos Raíz Flotante, Sustratos y NFT, con valores de 158.33 gr, 141.33 gr y 127.00 gr, respectivamente. En cuanto a Variedades, sobresalió estadísticamente Martina con 146.00 gr. frente a la Red Salad que obtuvo 138.44 gr. por planta, respectivamente.

El mayor promedio de peso fresco para el sistema aeropónico fue de 236.20 gr. con la variedad Waldmanns Green, siendo este superior al mayor promedio obtenido por el sistema hidropónico Raíz Flotante que fue de 158.33 cm con la variedad Martina.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, es posible obtener un promedio superior de peso fresco, que con un sistema hidropónico.

- Alvarez y Escobedo, 2006, en un estudio sobre la instalación y comprobación del funcionamiento de un desalinizador de agua para riego, con un ensayo sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) reportan que el rendimiento por planta de lechuga fue de 283.3 gr/planta para el Tratamiento 1 (Tratamiento con agua de regadío), para el tratamiento T2 (Tratamiento con agua de sub suelo) fue de 176.6 gr/planta y para el Tratamiento T3 (agua desalinizada) el rendimiento obtenido fue de 350.0 gr/planta en promedio.

Se determina que en el empleo de agua se obtuvo un menor resultado promedio de peso fresco que con el tratamiento de agua desalinizada con resultados de 236.20 gr y 350.00 gr respectivamente. Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad. Se deduce que dicha agua desalinizada no tiene ninguna clase de restricción para ser utilizada para fines agrícolas, y posee mejores características que el agua potable.

- En el trabajo de Investigación de Adaptación y comportamiento agronómico de diferentes híbridos de lechuga (*Lactuca sativa L.*) sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo, realizado por Vera Mosquera, (2008), se tiene que para peso fresco, el tratamiento 1 (Americana) con el mayor peso 372.24 grs. y superior estadísticamente a todos, y el menor valor se dio en el tratamiento 4 (Amorix) con un peso de con 190.35 grs.

Con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, se obtuvo el mayor promedio de peso fresco del estudio con 236.20 gr.; pero este promedio fue superado por el mayor promedio obtenido en un sistema de hidroponía empleando el sistema raíz flotante con un peso de 374.24 gr con la variedad Americana.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad.

En este caso el sistema aeropónico y la respectiva variedad fueron inferiores en peso fresco, pero destacaron en factores relacionados a calidad y sanidad de producción.

- En el trabajo de Investigación de Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía, realizado por Garzon, S. 2006. se tiene que en peso fresco la variedad Parris sobresalió estadísticamente con un promedio de 167.53 gr. por planta sobre las variedades Vulcan y Veronica con 98.00 gr. y 52.21 gr. gr respectivamente.

El mayor promedio de peso fresco para el sistema aeropónico fue de 236.20 gr. con la variedad Waldmanns Green, siendo este superior al mayor promedio obtenido por el sistema hidropónico Raíz Flotante que fue de 167.53 cm con la variedad Parris.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, es posible obtener un promedio superior de peso fresco, que con el sistema hidropónico NFT.

- En el trabajo de Investigación de "Evaluación de Cultivares de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para Producción de Lechuga miniatura y madura. Florindez, M. y Siura, S. 2012. Se determinó que estadísticamente en los promedios de peso fresco de planta de lechuga sembrada por método tradicional sobresalió la variedad Rosalita con 309.7 gr., seguida por Tango con 190.0 gr. teniendo estas los mejores promedios; y la variedad Lollo Rosa tuvo un promedio de 110.9 cm siendo esta la que obtuvo el mas bajo resultado. Se determina que con el manejo de un sistema aeropónico y con el empleo de la variedad Waldmanns Green, se obtuvo el mayor resultado promedio del estudio aeropónico con 236.20 gr., pero no pudo superar al resultado promedio del tratamiento que resulto mayor en el estudio de producción de lechuga con el empleo de agricultura tradicional con 309.7 gr en la variedad Rosalita. Por lo

que se deduce que el cultivo del sistema aeropónico fue menor en peso fresco promedio, y esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, en la agricultura tradicional se emplean productos químicos los cuales presentan determinadas toxicidades para el cultivo y el medio ambiente, pero logran incrementar el desarrollo del cultivo. A diferencia de la Aeroponía donde se emplean productos naturales sin presencia de toxicidad y la producción posee una mayor calidad y una sanidad notoriamente superior

- Barrios, N. En el trabajo de Investigación de "Evaluación del Cultivo de Lechuga, (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones Hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala". Se determinó que para peso fresco el mayor promedio lo obtuvo la variedad Salina con 270.83 gr., seguida por Bounty con 229.16 gr. y la que obtuvo el menor resultado promedio fue la variedad Grand Rapid con 183.33 gr.

Se tuvieron resultados de promedio de tratamiento mayor: en un sistema hidropónico de 270.83 gr con la variedad Bounty, y en el sistema aeropónico de 236.20 gr con la variedad Waldmanns Green.

Esto pueda deberse a características genéticas de cada variedad; o a que por lo mencionado anteriormente, se determina que con el manejo de un sistema hidropónico se pueden obtener producciones de mayor peso fresco pero no de mayor calidad, que con un sistema aeropónico. Teniéndose que la principal ventaja del sistema aeropónico es la obtención de producciones de calidad y de sanidad superior.

5. Para el peso seco de lechuga, estadísticamente el tratamiento T2 (Waldmanngreen) alcanzó el mayor peso en seco promedio por planta con 92.24 gr. y esto está en relación directa con el peso en fresco de la lechuga esto se deba posiblemente a características genéticas de cada variedad.

6. Con respecto al Factor Climático Temperatura en el Invernadero tipo túnel donde se ubicó el cultivo de Lechuga del presente trabajo de investigación, se registró

una temperatura promedio de 23.5°C , teniéndose que esta temperatura no resulto perjudicial para el desarrollo de las 3 variedades de lechuga.

En el trabajo de Investigación de Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía, realizado por Garzon, S. 2006. Se tuvo que en condiciones de invernadero, la temperatura promedio fue de 28°C , siendo esto perjudicial ya que las altas temperaturas producían flacidez en las plantas de lechuga.

En el trabajo de Investigación de Cordova, J. Analisis del Crecimiento de la Lechuga se pudo determinar que en condiciones de invernadero la temperatura promedio fue de 29.5°C , siendo esto un factor negativo para el desarrollo eficiente del cultivo de lechuga.



VI. CONCLUSIONES

- Llevo a cabo la rehabilitación de invernadero tipo túnel existente en las instalaciones de la universidad. Para esto se cambió totalmente la cobertura del invernadero, las redes de electricidad y de agua para el riego. Los cajones o contenedores hechos con madera e impermeabilizados con tecnopor y plástico; funcionaron correctamente para el soporte, riego, circulación del agua y desarrollo de las 3 variedades de lechuga. El abastecimiento de la energía eléctrica fue eficiente, lo que permitió el buen funcionamiento de la electro bomba y del programador de riegos. El sistema de riego a presión, empleando nebulizadores, operó sin problema alguno, funcionaron correctamente en presiones y descargas, brindando gracias a esto un riego óptimo para las tres variedades de Lechuga.
- Estadísticamente la mayor altura promedio de las plantas se alcanzó con el tratamiento T3 (EM Mariposa) con 27.4 cm.
- La mayor longitud promedio de las raíces de las plantas se alcanzo con el tratamiento T2 (Waldmann green) con 66.50 cm.
- El mayor peso fresco promedio de las plantas se obtuvo con el tratamiento T2 (Waldmann green) con 236.20 gr.
- Se logro el mayor peso en seco promedio por planta con el Tratamiento T2 (Waldmann green) con 92.24 gr. y esto esta en relación directa con el peso en fresco de la lechuga.

VII. RECOMENDACIONES

- Probar el sistema aeropónico con otros cultivos, para determinar el incremento en cantidad y calidad de producción que se puede conseguir con el empleo de este sistema.
- Realizar estudios sobre nutrición vegetal, para determinar el grado de eficiencia de fertilización que brinda este sistema a comparación de otros sistemas de producción.
- Estudiar densidades de transplante en diferentes cultivos a probarse, para comprobar la capacidad de este sistema para soportar altas densidades de transplante.
- Efectuar estudios sobre la relación Beneficio/Costo con este sistema, ya que a comparación de la agricultura tradicional u otros sistemas, con este sistema se obtienen cosechas de mayor valor económico empleando una menor inversión.

VIII BIBLIOGRAFÍA

1. **ALVAREZ, R, y ESCOBEDO, M.,** 2006. Instalación y comprobación del funcionamiento de un desalinizador de aguas para riego con un ensayo sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo las condiciones de Huasacache – Hunter.
2. **AVILA, H. y VALDIVIA, E.** 2002. “Construcción y Comprobación de tres sistemas de Hidroponía con dos variedades de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en tinglado Huasacache, Hunter- Arequipa” Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María 2004.
3. **ANSOREMA, J.** 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España. 172 pp.
4. **ARANO, C.** 1998 Forraje Verde Hidropónico y otras Técnicas de Cultivo sin tierra. Buenos Aires. 397 pp.
5. **BARREDA, J.** 2000. Producción de cebolla (*Allium cepa L.*) cv. “Roja arequipeña” en Hidroponía. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.
6. **BARRIOS, N.** 2004. Evaluación del Cultivo de la Lechuga, (*Lactuca sativa L.*) bajo condiciones Hidroponicas en Pachalí, San Juan Sacatapequez, Guatemala.
7. **CANOVAS, F., DÍAZ, J, R.** 1993. Cultivos Sin suelo. Curso Superior de Especialización. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería.
8. **COLJAP.** 1991. Cultivos hidropónicos. Ediciones Culturales VER. Bogotá.
9. **CORDOBA, J.** 2006. Analisis del Crecimiento de la Lechuga.
10. **CHEVARRIA, M.** 2007. Producción del cultivo Lechuga hidropónica (*Lactuca sativa L.*) variedad Walldmans green por el método de raíz flotante utilizando cuatro tipos de agua del fundo La Banda, Huasacache. Tesis de Grado. Universidad Católica de Santa María. Arequipa

11. **FLORINDEZ, M Y SIURA, S.** 2012. Evaluacion de Cultivares de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) para Produccion de Lechuga miniatura y madura bajo Cultivo Organico.
12. **GARZON, S.** 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía.
13. **GISPERT, C.** 1999. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería. Editorial OCEANO /CENTRUM. España.
14. **GUAMAN, R.** 2010. Estudio Bioagronómico de 10 cultivares de Lechuga de Cabeza (*Lactuca sativa* L.), utilizando dos tipos de Fertilizantes Orgánicos, en el Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.
15. **GUEVARA, M.** 1997. Sistema de Hidroponía y Aeroponía popular como una alternativa de alivio ante la Pobreza. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Facultad de Ciencias Económicas Escuela de Economía Agrícola.
16. **GUTIÉRREZ, I.** 2000. Cultivos Hidropónicos. Aprenda fácil. Ediciones Culturales VER Ltda.. Bogotá.
17. **HARTMAN, H.** 1999. Propagación de plantas. Principios y Prácticas. Compañía Editorial Continental S.A. México.
18. **INIA.** 2000. Guía del Cultivo Hidropónico. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Lima.
19. **MAROTO J.** 1983. Horticultura Herbácea Especial. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
20. **MAROTO J.** 1999. Elementos de la Horticultura General. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
21. **MARTINEZ, E.** 1993. Cultivos sin suelo: Hortalizas en clima mediterráneo. Ediciones de Horticultura, S.L. Barcelona.
22. **OTAZU, V.** 2009 Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponia. Centro Internacional de la Papa. Lima.
23. **PAZ, M.** 1997. Biblioteca de la Agricultura. Editorial LEXUS. México.
24. **POLIANA, A.** 2009 "Productividad y concentración de Nitrato en Cultivares de Lechuga conducido en sistema Aeropónico en los municipios de Altamira y

- Belén, en el Estado de Para- Brasil.” Tesis de grado Universidad Federal Rural de la Amazonía.
25. **RICHARDS, L.** 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial LIM USA. México
26. **RESH, H.** 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi – Prensa. Barcelona.
27. **RODRÍGUEZ D.** 2001. Soluciones nutritivas en Hidroponía. Formulación y preparación. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición mineral. Lima.
28. **SALAZAR G.** 1992. Guía Práctica de Cultivos hidropónicos Populares. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Santo Domingo.
29. **SERVER, ELLIS y DANEEL.** (2008). Respuesta de raíces de banano a la infección con *Fusarium* del banano en Aeroponía. Tesis de Grado. Panamá.
30. **SOLTÓ, J.** 1994. Hidroponía. Cómo cultivar sin tierra. Librería “El Ateneo” Editorial. Buenos Aires.
31. **STONER, R.J. M. Y J. CLAWSON,** 1998. Un alto rendimiento, la gravedad Insensible, con caja sistema aeropónico para la producción de alimentos en el espacio. Investigador Principal, la NASA SBIR NAS10-98030.
32. **TORRES, C.** 2002. Manual Agropecuario. Biblioteca del Campo. Colombia.
33. **UNALM.** 1995. Primer Curso Taller Internacional de Hidroponía. Dpto. de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima.
34. **UNALM.** 1996. Segundo Curso Taller Internacional de Hidroponía. Dpto. de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima.
35. **UNALM.** 1997. Hidroponía. Una Buena opción en Agronegocios. Conferencia Internacional de Hidroponía. UNALM. Lima
36. **VASQUEZ. V.** 1990. Diseños Estadísticos para la Investigación Científica y Tecnológica. Amaru Editores S.A. Lima.
37. **VERA, J.** 2008. Adaptacion y Comportamiento Agronomico de diferentes hibridos de Lechuga (*Lactuca sativa* L.), sembradas mediante sistemas hidropónicos de raíz flotante en la zona de Babahoyo.

38. ZAPP, J. 1991. Cultivos sin tierra. La Hidroponía Popular. Proyecto Regional para la superación de la pobreza. Bogotá.

PAGINAS WEB REVISADAS.

39. http://www.emeraldseed.com/index.php?option=com_content/article/Abutterhead-lettuce-em-mariposa/Aemerald-star-varieties Página Web visitada el 20 de setiembre 2012.
40. <http://www.rocalba.es/es/hortícolas.php?p=9&i=3503> Página Web visitada el 20 de setiembre 2012.
41. <http://guasch.com.ar/GuaschSemillas%C2%AE/Hortalizas/LechugasHojasAbiertas/Lechuga/WaldmannsGreen/Caracteristicas/149/Especies/182/1/> Página Web visitada el 20 de setiembre 2012.



A N E X O S



ANEXOS

ANEXO N° 1. Registros meteorológicos de la Estación Huasacache

Mes	Temperatura (°C)		Hum. Relativa (%)		Precipitación	Evaporación	Horas
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Total (mm)	(mm)	de Sol
Enero	20.0	10.5	79	46	19.3	3.6	3.0
Febrero	22.5	10.8	79	38	43.3	5.9	5.6
Marzo	24.9	6.6	78	43	58.4	5.7	6.5
Abril	24.9	5.3	75	33	0.0	5.9	9.7
Mayo	25.7	4.5	66	25	0.0	6.2	9.7
Junio	24.4	3.1	60	28	0.0	5.9	10.1
Julio	24.2	7.2	61	30	0.0	6.4	10.1
Agosto	23.2	7.7	63	31	0.3	6.3	8.7
Septiembre	23.0	9.3	69	35	0.1	6.1	8.3
Octubre	23.6	5.8	68	29	0.0	7.7	10.6
Noviembre	23.2	8.9	69	31	0.0	8.3	10.3
Diciembre	24.0	10.8	76	35	0.2	8.0	9.4

Fuente: SENAMHI. Oficina General de Estadísticas e informática

ANEXO N° 02 Análisis de agua. Fundo “La Banda”. Huasacache. 2010

Variables	Unidad	Valor	Grado de restricción	Calidad de agua
Ca	meq/l	2.000	Ninguno	-----
Mg	meq/l	0.333	Ninguno	-----
pH	-----	7.0	Neutro	Buena
CE	mS/cm	0.52	Bajo	Buena
RAS	-----	1.91	Ninguno	Buena
Dureza	-----	10	-----	Blanda
Indice Scott	mg/l	Mayor 18	-----	Buena
Clasificación Willcox	-----	-----	-----	Buena

Fuente: Tesis de Grado Chevarría, Mary. 2007

ANEXO No. 03 METRADO Y PRESUPUESTO DEL SISTEMA AEROPÓNICO

DESCRIPCION Y DETALLES	Costo Unit. S/.	Cantidad	Valor Total, Aprox. S/.
Soporte de Madera de 3.60 x 2.20 x 1.0 m.	800	3	2400
Tanque Rotoplast 600 L. Diámetro 1.10 h. 1.43	370	1	370
Bomba centrífuga 0.8 HP a mas potencia, caudal mínimo de 90 Lt/min. Altura máxima 25 m., min 12 m.	209	1	209
Bomba de Aire de acuario	20	1	20
Manguera transparente p/Bomba de aire x m.	1.5	10	15
Piedra difusora larga	2	1	2
Union Universal de 1"	4	2	8
Llave Globo de 1" PVC	8	2	16
Tubo de PVC 1" x 5 m.	14	0.3	4.2
Valvula Check 1"	22	1	22
Tee PVC 1"	3	1	3
Reductor de 1" a 3/4	3.8	1	3.8
Ternopor de 2" 1.22 x 2.40 m.	13	12	156
ternopor de 1 1/2 x 1.22 x 2.40	13	5	65
Plastico Negro de 10 micras x 4 m. (20 m. de longitud)	10	20	200
Plastico Blanco 3 m. grueso (4 m. de longitud)	5	12	60
Reductor de 3/4 a 16 mm. De 3 salidas	3	1	3
Riego en la Estructura de Madera			
Codo de 16 mm.	0.5	25	12.5
Codo PVC 90° de 3" (retorno)	2.5	3	7.5
Conector de 3 salidas de 16 mm. X 3/4 irritec	3.1	1	3.1
Llaves de 16 mm. Irritec o Azud	3.5	6	21
Manguera de 16 mm. PE Rollo de 100 mts	70	25	1750
Tee PVC 3" Agua retorno	3.4	2	6.8
Tee PE 16 x 16 mm.	0.5	10	5
Tubos de PVC 3" Agua retorno	10	3	30
Nebulizador Hadar 7110	2.7	60	162
Cinta teflon de 1/2 alemana x 12 m.	1.5	10	15
Pegamento Oatey 40 mz. Medium (32222) (1/32)	9	1	9
Abrazaderas metalicas de 5/8	0.5	20	10

DESCRIPCION Y DETALLES	Costo Unit. S/.	Cantidad	Valor Total, Aprox. S/.
Sistema Eléctrico			
Switch de palanca	25	1	25
Timer analogico de segundos y minutos	180	1	180
Timer analogico para Bomba de aire	20	1	20
Contactor para centrifuga	25	1	25
Caja para 4 llaves electrica	20	1	20
Cable de distribucion THHN SOLIDO (phelpps dodge - Norma termica Internacional UL83/UL1581 - 1581 y norma tecnica peruana Ntp 370.252 x 100 m .	72.5	0.18	13.05
Tubo de luz electrica liviana SEL autoextinguible 5/8	1.9	4	7.6
Union 5/8	0.35	4	1.4
Conector de Caja	0.3	2	0.6
Curva de Luz SEL	0.5	2	1
Cinta Aislante IBM Negra/blanca	4	1	4
Interruptor para adosar	4	1	4
Accesorios Otros			
Abrazadera de doble perno/ sujetador de 100 Unid.	30	0.25	7.5
Vasitos descartables bolsa x 100 Unid.	3	1	3
Esponja de 50 ml. de espesor x rollo	15	0.25	3.75
Silicona de tubo SIKASTIL- IA/ Marca SIKA	7	3	21
pistola de silicona	5	1	5
Tubo Saca bocado de 3/4" metalico x 50 cm .	5	1	5
Kit de brocas tipo copa (incluye de 38 mm .)	25	1	25
Taladro Percutor de 1/2 - Black and Decker Modelo KR 655 de 650 W , 3000rpm	159	1	159
Sub Total			6119.8
Imprevistos (8%)			425.32
		TOTAL	6545.12

ANEXO No. 04 **Altura de plantas. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012**

Repeticiones	T1	T2	T3	Total
1	24.0	18.5	25.0	67.5
2	20.2	17.5	24.0	61.7
3	23.1	25.3	27.0	75.4
4	21.5	27.0	29.0	77.5
5	19.5	26.6	26.0	72.1
6	23.0	26.8	30.0	79.8
7	22.5	23.5	29.0	75.0
8	24.0	26.2	28.0	78.2
9	22.0	25.8	27.0	74.8
10	21.0	21.0	32.0	74.0
Total	220.8	238.2	277.0	736.0
Promedio	22.08	23.82	27.70	

ANEXO No. 05 **Longitud de raíces. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012**

Repeticiones	T1	T2	T3	Total
1	58.0	67.0	55.0	
2	65.0	55.0	44.0	
3	50.0	60.0	57.0	
4	71.0	69.0	46.0	
5	58.0	69.5	48.0	
6	68.0	71.0	42.0	
7	44.0	70.0	42.0	
8	50.5	65.0	52.0	
9	58.5	70.5	60.0	
10	55.0	71.0	45.0	
Total	578.0	668.0	491.0	
Promedio	57.80	66.80	49.10	

ANEXO No. 06 Peso fresco. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012

Repeticiones	T1	T2	T3	Total
1	244.0	153.5	185.0	
2	183.5	121.5	173.0	
3	253.5	213.5	140.0	
4	170.0	289.0	216.0	
5	161.5	264.0	134.0	
6	218.5	322.5	279.0	
7	223.5	272.0	181.0	
8	176.0	265.5	220.0	
9	193.0	234.5	316.0	
10	154.0	226.0	178.0	
Total	1974.5	2362.0	2022.0	
Promedio	197.75	236.20	202.20	

ANEXO No. 07 Peso Seco. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la Campiña de Arequipa. 2012

Repeticiones	T1	T2	T3	Total
1	49.40	90.50	70.39	
2	46.60	94.55	78.40	
3	45.81	98.70	73.40	
4	42.08	86.36	75.05	
5	60.50	95.83	68.76	
6	42.09	89.36	71.59	
7	49.44	85.42	68.28	
8	45.81	97.78	78.37	
9	50.70	88.07	74.69	
10	46.68	95.83	74.76	
Total	479.11	922.40	733.69	
Promedio	47.91	92.24	73.37	

ANEXO N° 8: CROQUIS

