

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



**TESIS DE GRADO**

COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS HIDROPÓNICAS, FLUJO LAMINAR DE  
NUTRIENTES Y RAÍZ FLOTANTE PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA  
(*Lactuca sativa* L.) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA

DORIS ROSA RODRIGUEZ CHURATA

LA PAZ, BOLIVIA

2018

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

COMPARACION DE DOS TECNICAS HIDROPONICAS, FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES Y RAÍZ  
FLOTANTE PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE  
COTA COTA

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

**DORIS ROSA RODRIGUEZ CHURATA**

**ASESORES:**

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

**TRIBUNAL EXAMINADOR:**

Ing. M.Sc. Celia Fernández Chávez

Ing Bernardo Ticona Contreras

**APROBADO:**

Presidente tribunal examinador

La Paz, Bolivia

2018

## **DEDICATORIA**

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

*A mi hijo, Erwin Daniel Riveros Rodriguez que es razón de mi vida, por brindarme fuerzas para seguir adelante.*

*A mis padres, Pablo Rodriguez Calle y Antonia Chutara Luque por su apoyo constante y la confianza depositada a lo largo de mis estudios.*

*A mis hermanas Guadalupe y Maribel Rodriguez Churata que son un ejemplo e inspiración.*

*Y a toda mi familia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Dios quien con su amor y bondad me hizo que fuera valiente en todas las situaciones que se presentaron.

A mis padres Pablo Rodriguez Calle y Antonia Luque de Rodriguez que con su amor y trabajo me apoyaron en toda mi formación profesional.

A mi hijo Erwin Daniel Riveros Rodriguez por darme fuerzas para seguir adelante.

A mis hermanas que de una u otra forma a lo largo de nuestras vidas han estado en mi vida, para reír, llorar y solidarizarnos y también a toda mi familia.

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

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

Al Ing. Agr. Freddy Carlos Mena Herrera, agradezco su asesoría, y toda la ayuda brindada al largo de esta investigación.

Un especial agradecimiento al Lic. Pablo Morales Pérez, Ing. Jesusa Quispe Mamani y al Ing. Joel Mamani por el apoyo incondicional brindado durante la etapa de realización de la tesis.

A mis compañeros y grupo de amigos Cotacoteños, Saúl Garzon, Carola Colque, Jhonny Romero, Alvaro Fernández, Roxana Ticona, Paola Callisaya, Mónica Yujra, y demás compañeros; también a Martin Rivera, Renzo Santana, Miriam Cori y Nora Silicuana, que supieron aceptarme para complementarnos con nuestras debilidades y fortalezas y me brindaron su amistad confianza y apoyo.

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

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

## CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

	Pag.
ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMÉN.....	viii
ABSTRACT.....	ix

### ÍNDICE GENERAL

<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 <i>Objetivo General</i> .....	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 CULTIVOS HIDROPÓNICOS.....	3
2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CULTIVO HIDROPÓNICO. ....	5
2.2.1 <i>Ventajas</i> .....	5
2.2.2 <i>Desventajas</i> .....	6
2.3 LA HIDROPONÍA. ....	6
2.4 FORMAS DE CULTIVO HIDROPÓNICO. ....	7
2.4.1 <i>Cultivo hidropónico en solución líquida</i> .....	7
2.4.2 <i>Cultivo hidropónico con sustrato</i> .....	8
2.4.3 <i>Técnica comercial NFT (Nutrient Film Technique) móvil</i> . ....	8
2.4.4 <i>Técnica de raíz flotante</i> .....	9
2.4.4.1 Oscuridad para la solución nutritiva.....	10
2.4.4.2 Oxigenación. ....	10
2.4.4.3 Circulación de la solución nutritiva.....	11
2.5 CONSTITUYENTES DE LA COMPOSICIÓN DE LAS PLANTAS. ....	13
2.6 NUTRIENTES O ELEMENTOS QUÍMICOS USADOS EN LA HIDROPONÍA.....	14
2.6.1 <i>Solución nutritiva</i> .....	14
2.6.2 <i>Sales y minerales</i> . ....	16
2.6.3 <i>Funciones de los elementos nutritivos en las plantas</i> . ....	17
2.7 PH EN LA SOLUCIÓN. ....	18
2.8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. ....	19

2.9	FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO. ....	21
2.9.1	<i>Temperatura</i> .....	21
2.9.2	<i>Luz</i> .....	22
2.9.3	<i>Humedad del ambiente</i> .....	23
2.9.4	<i>Agua</i> .....	23
2.10	TUBERÍAS O MATERIAL PARA CANALES DE CULTIVO. ....	24
2.11	GERMINACIÓN DE SEMILLAS. ....	26
2.12	AMBIENTES CONTROLADOS. ....	26
2.13	CULTIVO HIDROPÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS. ....	27
2.13.1	<i>Características de la lechuga</i> .....	28
2.13.1.1	Clasificación taxonómica de la lechuga. ....	29
2.13.1.2	Características botánicas de la lechuga.....	29
2.13.1.3	Características agroecológicas de la lechuga. ....	30
2.13.1.4	Composición y valor alimenticio de la lechuga. ....	32
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>34</b>
3.1	LOCALIZACIÓN .....	34
3.1.1	<i>Ubicación Geográfica</i> .....	34
3.2	CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LA REGIÓN. ....	35
3.2.1	<i>Clima promedio</i> . ....	35
3.2.2	<i>Suelo</i> . ....	35
3.2.3	<i>Vegetación</i> . ....	35
3.3	MATERIALES .....	36
3.3.1	<i>Material vegetal</i> .....	36
3.3.2	<i>Material de laboratorio</i> .....	36
3.3.3	<i>Material de campo</i> .....	36
3.3.4	<i>Material químico</i> .....	37
3.3.5	<i>Material de escritorio</i> .....	37
3.3.6	<i>Material para la adecuación de la pirámide y piscinas</i> .....	38
3.4	METODOLOGÍA. ....	38
3.4.1	<i>Readecuación del modulo de investigación</i> .....	38
3.4.1.1	Armado de los canales de cultivo y pirámide.....	38
3.4.1.2	Sistema de irrigación y de retorno.....	39
3.4.2	<i>Almacigo en esponja</i> .....	40
3.4.3	<i>Formulación de las soluciones nutritivas</i> .....	40

3.4.3.1	Requerimientos nutricionales del cultivo de la lechuga.....	41
3.4.3.2	Contenido de sales del agua, dureza del agua.....	41
3.4.3.3	Sales disponibles.....	42
3.4.3.4	Manejo del pH de la solución de nutrientes.....	43
3.4.3.5	Manejo de la conductividad eléctrica (C.E.).....	44
3.4.3.6	Manejo del cultivo.....	44
3.4.3.6.1	Siembra.....	44
3.4.3.6.2	Trasplante.....	45
3.4.3.6.3	Número de muestra.....	45
3.4.3.6.4	Registro de temperaturas.....	45
3.4.3.6.5	Cosecha.....	46
3.4.3.6.6	Manejo de las deficiencias nutricionales.....	46
3.4.4	<i>Diseño experimental</i> .....	46
3.4.4.1	Características del área experimental.....	47
3.4.4.2	Croquis Experimental.....	48
3.4.5	<i>Variables de respuesta</i> .....	49
3.4.5.1	Número de hojas por planta.....	49
3.4.5.2	Área foliar.....	49
3.4.5.3	Peso de materia fresca.....	49
3.4.5.4	Peso de materia seca.....	50
3.4.5.5	Diámetro de cuello.....	50
3.4.5.6	Volumen radicular.....	50
3.4.5.7	Variables económicas.....	50
3.4.5.7.1	Costos de producción.....	50
3.4.5.7.2	Costos variables.....	51
3.4.5.7.3	Costos fijos.....	51
3.4.5.7.4	Costos totales.....	51
3.4.5.7.5	Ingreso neto.....	51
3.4.5.7.6	Relación beneficio- costo.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>53</b>
4.1	NÚMERO DE HOJAS POR PLANTA (HOJAS/PLANTA).....	53
4.2	ÁREA FOLIAR (CM <sup>2</sup> ).....	55
4.3	PESO DE MATERIA FRESCA (GR).....	58
4.4	PESO DE MATERIA SECA (GR).....	60
4.5	DIÁMETRO DE CUELLO (MM/PLANTA).....	62
4.6	VOLUMEN RADICULAR (CC/PLANTA).....	65

4.7	VARIABLES ECONÓMICAS.....	68
4.7.1	<i>Beneficio bruto (Anexo cuadro 11)</i> .....	68
4.7.2	<i>Precio</i> .....	68
4.7.3	<i>Costos variables</i> .....	69
4.7.4	<i>Costos fijos</i> .....	70
4.7.5	<i>Costos totales</i> .....	70
4.7.6	<i>Ingreso neto</i> .....	71
4.7.7	<i>Relación beneficio- costo</i> .....	71
4.7.8	<i>Comportamiento del pH</i> .....	72
4.7.9	<i>Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E.)</i> .....	73
5	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>74</b>
6	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>77</b>
7	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>78</b>



## INDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
CUADRO 1. FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS.....	17
CUADRO 2 CONTENIDO NUTRICIONAL PROMEDIO EN 100 G DE HOJAS DE LECHUGA.....	32
CUADRO 3 CONTENIDO DE MINERALES EN CADA 100 G DE HOJAS DE LECHUGA: .....	33
CUADRO 4 REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES PARA LECHUGA EN PPM O MG/L. ....	41
CUADRO 5 REQUERIMIENTO DE SALES MENOS SALES DE AGUA. ....	42
CUADRO 6 CANTIDADES NECESARIAS.....	42
CUADRO 7 DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTOS.....	47
CUADRO 8 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE NÚMERO DE HOJAS POR PLANTA .....	53
CUADRO 9 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE ÁREA FOLIAR .....	55
CUADRO 10 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “A” TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN PARA LA VARIABLE ÁREA FOLIAR.....	57
CUADRO 11 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “B” DENSIDADES DE TRASPLANTE, PARA LA VARIABLE ÁREA FOLIAR .....	57
CUADRO 12 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE PESO DE MATERIA FRESCA.....	58
CUADRO 13 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA LA VARIABLE MATERIA FRESCA FACTOR “A” .....	59
CUADRO 14 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “B” .....	59
CUADRO 15 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE PESO DE MATERIA SECA. ....	60
CUADRO 16 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “A” TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN. ....	62
CUADRO 17 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE CUELLO (MM/PLANTA) .....	63
CUADRO 18 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “A” DE LA VARIABLE DIÁMETRO DE CUELLO (MM/PLANTA) .....	64
CUADRO 19 EL RESPECTIVO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE VOLUMEN RADICULAR .....	65
CUADRO 20 PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DUNCAN PARA EL FACTOR “A” TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN, PARA LA VARIABLE VOLUMEN RADICULAR POR PLANTA .....	67
CUADRO 21 COSTOS VARIABLES. ....	69
CUADRO 22 COSTOS FIJOS. ....	70
CUADRO 23 COSTOS TOTALES. ....	70
CUADRO 24 RELACIÓN BENEFICIO COSTO. ....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.</b> Localización geográfica del experimento; Instituto Geográfico Militar (2007).....	34
<b>Figura 2.</b> Vista frontal del experimento de NFT.....	48
<b>Figura 3.</b> Vista frontal del experimento de RF.....	48
<b>Figura Nº 4.</b> Comportamiento del pH.....	72
<b>Figura Nº 5</b> Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E.).....	73

## RESUMEN

La hidroponía es vista como una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica y es responsable de la alimentación y de la generación de ingresos para millones de personas alrededor del mundo.

La producción de hortalizas, en especial el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), representa una importante fuente de beneficio económico para el agricultor para ser producto muy apetecido y tener perspectivas de ingresos monetarios adicionales.

Técnica NFT (Nutrient Film Technique), el pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glass House Crops Reserch Institute, en Little Hampton (Inglaterra), 1965. El término *Nutrient Film Technique* fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario. Resh (1987).

El NFT es apropiado para cultivos de poco crecimiento o cultivos de hortalizas de hoja como las lechugas, berros, rúcalas, acelga, endivias, etc.; al adecuar los canales de cultivo y el espacio entre las plantas, se mejora la productividad de las cosechas. La movilidad de los canales de cultivo permite el libre movimiento de los trabajadores entre las plantas, lográndose la mecanización de la producción, INIA (2000).

Según Carrasco G.; Izquierdo J. (1996), el método utiliza un medio líquido que contiene agua y sales nutritivas. Este sistema ha sido denominado "cultivo de raíz flotante", ya que las raíces flotan dentro de la solución nutritiva, pero las plantas están sostenidas sobre una lámina de plastofor (poliuretano expandido) que se sostiene sobre la superficie del líquido.

Para el mismo autor Carrasco G.; Izquierdo J.(1996), en estos sistemas, las raíces de las plantas se encuentran sumergidas parcial o totalmente en una solución con los elementos nutritivos disueltos en ella. La oxigenación de la raíz es un factor muy importante para el buen funcionamiento del sistema.

## **ABSTRACT**

Hydroponics is seen as one of the most fascinating branches of agronomic science and is responsible for food and income generation for millions of people around the world.

The production of vegetables, especially the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.), represents an important source of economic benefit for the farmer to be very desirable product and have prospects of additional monetary income.

Technique NFT (Nutrient Film Technique), the pioneer of this technique was Allen Cooper, in the Glass House Crops Reserch Institute, in Little Hampton (England), 1965. The term Nutrient Film Technique was used in this Institute to emphasize that the depth of the The flow of the liquid that passed through the roots of the plants had to be very small (laminar), so that in this way they could always have the necessary oxygen. Resh (1987).

The NFT is appropriate for low growing crops or leafy vegetable crops such as lettuce, watercress, rucola, Swiss chard, endives, etc.; By adapting the cultivation channels and the space between the plants, the productivity of the crops is improved. The mobility of the cultivation channels allows the free movement of the workers between the plants, achieving the mechanization of the production, INIA (2000).

According to Carrasco G.; Izquierdo J. (1996), the method uses a liquid medium containing water and nutritive salts. This system has been called "floating root crop", since the roots float inside the nutrient solution, but the plants are supported on a sheet of plastofor (expanded polyurethane) that is held on the surface of the liquid.

For the same author Carrasco G.; Izquierdo J. (1996), in these systems, the roots of the plants are partially or totally submerged in a solution with the nutritive elements dissolved in it. The oxygenation of the root is a very important factor for the proper functioning of the system.

## 1 INTRODUCCIÓN

La hidroponía es vista como una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica y es responsable de la alimentación y de la generación de ingresos para millones de personas alrededor del mundo. Se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas producto de la contaminación, la desertificación, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades y áreas urbanas.

La producción hidropónica hoy en día es la técnica más usada en la producción de hortalizas, en regiones no aptas para su cultivo. Cultivos hidropónicos, término aplicado al cultivo de plantas en soluciones de nutrientes sin emplear la tierra como sustrato.

El objetivo de este tipo de cultivo es obtener la mayor producción posible, en las mejores condiciones técnicas y económicas; igualmente, lo más adaptadas a lo que el mercado exige, haciendo una planificación de cultivo continuo, durante todo el año. Este cultivo continuo debe permitir conocer la duración de los ciclos que tienen las hortalizas a producirse en este cada época del año.

El cultivo sin tierra de plantas cultivadas se extendió como resultado de las técnicas de cultivo empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal.

Los métodos más recientes de cultivo sin tierra difieren en algunos detalles, pero tienen dos rasgos comunes: los nutrientes se aportan en soluciones líquidas y las plantas se sostienen sobre materiales porosos, como espuma sintética, turba, arena, grava o fibra de vidrio, las cuales actúan como soporte.

La producción de hortalizas, en especial el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), representa una importante fuente de beneficio económico para el agricultor para ser producto muy apetecido; sin embargo la dieta alimenticia de las personas se

considera deficiente en vitaminas y elementos minerales por lo que es de suma importancia producir hortalizas para complementar su alimentación y tener perspectivas de ingresos monetarios adicionales.

En este sentido surge la necesidad de mejorar los sistemas de producción que puedan elevar los rendimientos con la, adopción de nuevos y mejores sistemas de producción que aprovechen con mayor eficiencia el agua; con pequeñas obras físicas pero con mucha dedicación y constancia, y a costos relativamente más bajos que permitan producir hortalizas frescas y abundantes en pequeños espacios.

Esta tecnología ha demostrado ser una opción, a través del cual la capacidad de cultivar productos hortícolas en forma eficiente, demuestren ser competitivos y sanos en los mercados más exclusivos, permitiendo acceder a formas de organización y de gestión que genere procesos culturales de promoción personal y de superación de la pobreza, (Marulanda 1993).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

- Comparar dos técnicas hidropónicas, flujo laminar de nutrientes y raíz flotante, bajo dos densidades diferentes de siembra en el cultivo de lechuga.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar cuál de las dos técnicas, (NFT) técnica de la película de nutriente o (RF) raíz flotante, es la de mejor rendimiento para la lechuga.
- Evaluar cuál de las dos densidades tiene mayor rendimiento en el cultivo.
- Realizar costos parciales de producción en las dos técnicas.

## **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cultivos hidropónicos.**

El cultivo sin tierra, comenzó en la década de 1930 como resultado de las técnicas empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal. Los métodos más recientes de cultivo sin tierra difieren en algunos detalles, pero tienen dos rasgos comunes: los nutrientes se aportan en soluciones líquidas y las plantas se sostienen sobre materiales porosos, como turba, arena, grava o fibra de vidrio, las cuales actúan como mecha y transportan la solución de nutrientes desde su lugar de almacenamiento hasta las raíces, INIA (2000).

Los métodos de cultivo hidropónico se están usando con éxito para producir plantas fuera de estación en invernaderos y para cultivar plantas donde el suelo o el clima no son adecuados para una especie determinada; también se utilizan en zonas muy áridas, en suelos pobres o en aquellos susceptibles al ataque de parásitos, INIA (2000).

INIA (2000), los cultivos, en centros urbanos donde con algunas sales y agua en poca cantidad han despertado interés general durante los últimos años como un sistema no convencional, su fácil implementación y constituyendo un avance en la ciencia y tecnología para cultivo de plantas que permite la capacitación técnica de grupo de personas de toda edad, INIA (2000).

La tierra tiende a menudo a llevar agua y nutriente lejos de las plantas lo cual vuelve la aplicación de cantidades correctas de fertilizantes un trabajo muy difícil. En el cultivo de hidroponía, los nutrientes necesarios se disuelven en agua y esta solución se aplica a las plantas en dosis exactas en los intervalos prescritos, Sánchez (2004).

La tierra resulta un medio complejo que incluye materias minerales más o menos solubles para las plantas. Según el grado de humedad, acidez, sustancias orgánicas y microorganismos, formándose Inter-reacciones donde son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos es posible establecer la composición de una

solución de nutrientes con las mismas características de un suelo y determinar la acidez y alcalinidad exactamente requeridas mejorando la cosecha en cantidad, peso, calidad y productividad, Resh (1987).

Para Resh (1987), el gran incremento de las cosechas con el cultivo hidropónico frente a las normales es producido normalmente por diversos factores. En algunos casos el suelo puede haber sido excepcionalmente pobre; así, pues, el cultivo sin suelo sería en este caso muy beneficioso. La presencia de insectos o enfermedades en el suelo reduce considerablemente la producción en forma natural.

Sánchez (2004), Varios autores coinciden en que la hidroponía, considerada como un sistema de producción agrícola que tiene gran importancia dentro de los contextos ecológicos, económico y social. Consideran que dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones y para diversos usos.

Para el mismo autor Sánchez (2004), Una característica importante al cultivar plantas en un medio sin tierra es que permite tener más plantas en una cantidad limitada de espacio, las cosechas maduraran más rápidamente y producirán rendimientos mayores, se conservan el agua y los fertilizantes, ya que pueden reciclarse, además, la hidroponía permite ejercer un mayor control sobre las plantas, con resultados más uniformes y seguros.

Según Huterwal (1991), con el método hidropónico la planta debe encontrar las mismas condiciones ambientales que le ofrece la naturaleza, con lo cual las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal quedan facilitadas. De ahí la importancia esencial de la solución nutritiva artificial que la planta absorberá sin esfuerzo, sin necesidad de que sus raíces se extiendan largamente lo que evita un gasto de energía lo que la planta economiza y podrá destinar a superar su desarrollo.



Todo esto se hace posible por la relación entre la planta y sus elementos nutrientes, de la tierra, así como el apoyo que le da a la planta. Cualquier medio de crecimiento dará un apoyo adecuado, y al suministrar nutrientes a un medio estéril donde no hay reserva de estos, es posible que la planta consiga la cantidad precisa de agua y nutrientes que necesita. Sánchez (2004).

Las mayores ventajas del cultivo hidropónico frente al tradicional son una mayor eficiencia en la regulación de nutrición, su posibilidad de empleo en regiones del mundo que carecen de tierras cultivables, una utilización más eficiente del agua y fertilizantes, más fácil y bajo costo de desinfección del medio, así como una mayor densidad de plantación que nos conduce a un incremento de cosecha por área. Sánchez (2004).

Para Penningsfield (1983), los cultivos hidropónicos presentan un gran avance en la técnica y pueden ser utilizados tanto en medianas como en pequeñas explotaciones, las mismas presentan bastantes ventajas sobre los cultivos clásicos en tierra.

## **2.2 Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico.**

Sánchez, (2004), menciona que para poder iniciar la implementación del cultivo en medio hidropónico se debe considerar las ventajas y desventajas que se tiene en esta forma de producción de alimentos:

### **2.2.1 Ventajas.**

- Permite producir cosechas fuera de estación.
- Cultivo libre de parásitos, bacterias hongos y contaminación.
- Reducción de costos a largo plazo de producción en mano de obra e insumos.
- Independencia de los fenómenos meteorológicos.
- Menos espacio para una mejor producción.
- Ahorro del agua, porque el uso eficiente de ella.
- Se evita el uso de maquinaria agrícola (tractores, rastras, etc.).

- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Se puede automatizar.
- Rápida recuperación de la inversión.
- Se puede utilizar en ciudades, zonas áridas o frías

### **2.2.2 Desventajas.**

- Costo inicial alto.
- Es necesario personal capacitado y conocimiento total del cultivo para manejar este sistema.
- Las enfermedades y plagas pueden propagarse rápidamente.
- Las plantas reaccionan rápidamente tanto a buenas como a malas condiciones.
- Las variedades de plantas disponibles para el sistema no son siempre las mejores.

### **2.3 La hidroponía.**

Para Penningsfield (1983), el cultivo hidropónico como herramienta de cultivo, se cree que empezó en la antigua Babilonia, en los famosos Jardines Colgantes que se listan como una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo, en lo que probablemente fuera uno de los primeros intentos exitosos de cultivar plantas hidropónicamente, muchos escritores han sugerido que los Jardines Colgantes de Babilonia eran un sistema hidropónico, ya que el agua fresca es rica en oxígeno y se suministraban nutrientes regularmente.

Para Carrasco,G. e Izquierdo,J.(1996), en 1856 Salm - Horsmar desarrolló técnicas para el uso de arena y otros sustratos inertes, varios investigadores habían demostrado por ese tiempo 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.

Según Carrasco,G. e Izquierdo,J.(1996), de los descubrimientos y avances en los años 1859 a 1865 la técnica fue perfeccionada por dos científicos alemanes, Julius Von Sachs (1860), profesor de Botánica en la Universidad de Wurzburg (1832-1897), y W. Knop (1861), químico agrícola; Knop ha sido llamado “El Padre de la Cultura del Agua.”

En ese mismo año (1860), el profesor Julius Von Sachs publicó la primera fórmula estándar para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer plantas con éxito. Esto marcó el fin de la larga búsqueda del origen de los nutrientes vitales para las plantas, dando origen a la "Nutricultura". Técnicas similares se usan actualmente en estudios de laboratorio sobre fisiología y nutrición de plantas, Carrasco,G. e Izquierdo,J.(1996).

Para Penningsfield (1983), en el ensayo realizado sobre sistema hidropónico en dos variedades de lechuga, bajo tres niveles de soluciones nutritivas hecho por Barrientos (1999), utilizo el sistema suka que consiste en realizar el cultivo encima de los camellones, proveyendo a las plantas los alimentos por medio de una solución sintética de agua de sales minerales diversas, donde obtuvo resultados óptimos.

## **2.4 Formas de cultivo hidropónico.**

Según Sánchez (2004), en la producción hidropónica actualmente se tienen varios y diferentes estilos distintos, de acuerdo a autores y escuelas en el mundo:

### **2.4.1 Cultivo hidropónico en solución líquida.**

Según Resh (1987), es aquel en el que mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutriente disuelto) sin ningún tipo de sustrato sólido. Las raíces están sumergidas en solución nutritiva en movimiento o estacionadas, en la cual se regulan constantemente el pH, aireación y concentración de sales, una variante es la recirculación constante de la solución

nutritiva en contacto con la parte baja de la raíz; esta es llamada técnica de película nutriente (NFT, en inglés).

#### **2.4.2 Cultivo hidropónico con sustrato.**

Es el cultivo en sustratos sólidos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la solución nutritiva, es más usada para producción de plantas con fruto o de ciclo largo, se parece en muchos aspectos al cultivo convencional en tierra y es el más usado en muchos países; en lugar de tierra se emplea algún material denominado sustrato el cual es completamente inerte y se utiliza como un medio de sostén para las plantas, permitiendo que estas tengan suficiente humedad, y también la expansión de las raíces, Sánchez (2004).

Resh (1987), casi todos los cultivos en sustrato utilizan un sistema de sub irrigación. Esto es, el agua se bombea en las bancadas y fluye algunas pulgadas por encima de la superficie, drenando a continuación hacia el depósito de nutrientes.

#### **2.4.3 Técnica comercial NFT (Nutrient Film Technique) móvil.**

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glass House Crops Reserch Institute, en Little Hampton (Inglaterra), 1965. El término *Nutrient Film Technique* fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario. Resh (1987).

Según Resh (1987), Schippers, P.A. mejoro este sistema en 1979 en la Universidad de Oregon, un sistema para el cultivo de lechugas utilizando canales o tuberías de PVC móviles. En dicho sistema, normalmente la lechuga se trasplanta en bancadas fijas del invernadero, espaciándolas suficientemente como para permitir su desarrollo.

INIA (2000), el NFT es apropiado para cultivos de poco crecimiento, como las lechugas, berros, rúcalas, acelga, endivias, etc.; al adecuar el espacio entre plantas y

los canales de cultivo, se mejora las cosechas. La movilidad de los canales permite el libre movimiento de los trabajadores, pudiéndose mecanizar.

Durante su primer período de desarrollo después de su trasplante, se desperdicia la superficie que hasta el final no será cubierta por la totalidad de las plantas. La técnica de cultivo en flujo (film) de nutrientes ofrece una alternativa que hace posible el de que las bancadas no necesiten estar en una posición fija, Sánchez (2004).

Adaptando las distancias entre los canales a las necesidades de espacio de las plantas, según diversos estados de desarrollo, el número total de estas puede incrementarse en un 50 %. Un grupo de plantas se moverá a intervalos de una a dos semanas desde un lado del invernadero hasta el otro, a espacios cada vez mayores, siendo ocupadas las secciones vacías por el siguiente lote que será sembrado de siete a diez días más tarde, Resh (1987).

La última sección se irá cosechando de forma que deje sitio a la sección inmediatamente adyacente. Este sistema, puede solamente utilizarse con cultivos que pueden ser sembrados y recolectados a intervalos regulares de tiempo, Resh (1987).

Esto es particularmente útil para reducir los costos de energía en los invernaderos, las plantas pueden situarse agrupadas en un área del invernadero pudiendo anularse la parte no utilizada del invernadero, y cuando las plantas crecen y necesitan espacio adicional, los canales solo precisan ser separados, y así se evita el trasplante. Con esto se asegura que la producción pueda aumentar en un 35 %, INIA (2000).

#### **2.4.4 Técnica de raíz flotante.**

Según Carrasco G.; Izquierdo J. (1996), el método utiliza un medio líquido que contiene agua y sales nutritivas. Este sistema ha sido denominado "cultivo de raíz flotante", ya que las raíces flotan dentro de la solución nutritiva, pero las plantas

están sostenidas sobre una lámina de plastoform (poliuretano expandido) que se sostiene sobre la superficie del líquido.

Para el mismo autor Carrasco G.; Izquierdo J.(1996), en estos sistemas, las raíces de las plantas se encuentran sumergidas parcial o totalmente en una solución con los elementos nutritivos disueltos en ella. La oxigenación de la raíz es un factor muy importante para el buen funcionamiento del sistema.

Gilsanz,J. (2007), el ahorro en agua y fertilizantes son unas de sus principales ventajas; sus desventajas se deben principalmente al preciso y controlado manejo de la solución nutritiva.

Para el mismo autor Gilsanz,J. (2007), aunque en este sistema de cultivo se puede usar con éxito un gran número de soluciones nutritivas, se debe resaltar que se trata de un sistema esencialmente carente de capacidad de amortiguamiento (*Buffer*). Por lo tanto, se requiere de un control muy exacto de la solución nutritiva, sobre todo en lo referente a los niveles de pH, fosfatos y hierro.

Según Guzmán G. (2004), para favorecer el crecimiento de las plantas bajo cultivo en solución se requiere manejar adecuadamente ciertas condiciones físicas, tales como:

#### **2.4.4.1 Oscuridad para la solución nutritiva.**

Para evitar el crecimiento de algas verdes y otras plantas acuáticas diminutas que pueden competir por el oxígeno y los nutrientes. La descomposición posterior de las algas puede llegar a ser tóxica para las raíces, interfiriendo con sus funciones y desarrollo.

#### **2.4.4.2 Oxigenación.**

El éxito que se obtenga con este sistema de cultivo hidropónico, depende en gran parte del suministro adecuado de oxígeno para las raíces de las plantas a través de

la solución nutritiva. El suministro de oxígeno puede ser natural, o bien, forzado de diversas maneras.

Según Marulanda C. (2003), el método más común para oxigenar la solución, consiste en dejar un espacio de aire entre la superficie de la misma y la parte inferior del lecho que soporta a las raíces, de tal manera que, las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución.

Para el mismo autor Marulanda C. (2003), para aumentar el abastecimiento de aire a medida que crecen las raíces, hay que bajar el nivel de la solución hasta dejar un espacio máximo de 5 cm, un espacio mayor puede dañar por secamiento a las raíces superiores. También, es usual agregar oxígeno en la solución haciendo pasar burbujas de aire a través de ella mediante una bomba de aire conectada a un tubo con perforaciones de 1 mm de diámetro y 30 cm de separación, que recorre el fondo del tanque.

Para Gilsanz, J. (2007), el volumen de aire necesario depende principalmente del volumen de solución, de la temperatura y la clase de planta para tinas o recipientes caseros, las bombas de acuarios son adecuadas para oxigenar la solución. Otra forma de airear la solución consiste en hacerla caer al aire libre desde una altura suficiente para que pueda oxigenarse debidamente (efecto de cascada), sin embargo, la circulación de la solución debe ser lenta para la absorción de nutrientes por las raíces.

#### **2.4.4.3 Circulación de la solución nutritiva.**

Gilsanz J. (2007), es una práctica comúnmente recomendada, ya que favorece una mejor distribución de los iones nutritivos y una mejor aireación. Es de suponerse que, el movimiento de la solución a través de las raíces ayuda a estabilizar su medio ambiente. Desde luego que el movimiento debe ser lo suficientemente lento como para no dañar a las raíces.

Según Ninancuro E. (2007), este sistema de cultivo muy utilizado en los proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, y agrega a lo anterior de que la aireación debe efectuarse por lo menos dos veces al día, independiente del método a utilizar, ya que esta acción permite redistribuir los elementos y oxigenar la solución.

Además el Dr. Merle Jensen, del Environmental Research Laboratory (ERL) de la Universidad de Arizona (Tucson, Arizona), desarrollo un prototipo de un sistema flotante de lechuga durante 1981-1982, el supuso que este sistema llegaría a producir 4.5 millones por hectáreas y año, Ninancuro E. (2007).

Para el mismo autor Ninancuro E. (2007), en este prototipo la solución nutritiva es recirculada a través de un tanque nutritivo. Allí se oxigena bombeando aire, se enfría con una unidad refrigeradora y después se impulsa de regreso al punto más lejano de cada cama. Durante el retorno de las camas, la solución nutritiva atraviesa un esterilizador de ultravioleta, siendo efectivos contra muchas bacterias, hongos y algunos virus y protozoos tales como los nematodos.

Se tiene conocimiento que la infección de *Pythium*, de las raíces produce atrofia en las plantas. La esterilización ultravioleta de las soluciones nutritivas no combate este organismo. Solo se puede controlar por esterilización entre cosechas de todas las camas, tuberías, tanques, con una solución de cloro al 10 %, algunos investigadores observaron que los contenidos en boro y magnesio de una solución nutritiva se reducían en más de 20% durante un periodo de 24 horas, Ninancuro E. (2007).

Para Marulanda C. (2003), de todos los sistemas de cultivo hidropónico que existen para el cultivo de la lechuga, ninguno es tan económico y simple como el sistema de raíz flotante. En un sistema de este tipo, la planta se encuentra flotando sobre una solución nutritiva y se alimenta continuamente de la misma. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de raíz flotante requieren de recirculación y oxigenación de la solución nutritiva.



Gilsanz J. (2007), para lograr hacer un sistema hidropónico de raíz flotante económico, un estudio hecho en Argentina muestra que es posible cultivar lechugas sin recirculación ni aeración si se deja un espacio de aire de 2 cm entre la planta y la solución nutritiva (en vez de flotar la planta directamente sobre la solución), esta técnica es de grado medio, aunque teniendo todo digamos calibrado es muy simple.

Para el mismo autor Gilsanz J. (2007), consta de una plancha de plastoformo en el que se le practican orificios, en el que trasplantara la plántula, el plastoformo flota junto con las plantas. Se recomienda este método para quienes quieran tener plantas de hoja como lechuga, cilantro, epazote, yerbabuena, menta, apio, perejil, orégano etc. Por ser un medio en el cual constantemente tiene disponible la solución nutritiva.

## **2.5 Constituyentes de la composición de las plantas.**

Para INIA (2000), aproximadamente el 90 % del peso en seco de la mayoría de las plantas está formado por 3 elementos: carbono, oxígeno e hidrógeno. El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono, si solamente el 15 por 100 del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90 por 100 de ésta representado por carbono, oxígeno e hidrogeno, entonces todos los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente por 1.5 % del peso fresco de ella.

Según Resh (1987), la composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 90 % de agua. El exacto porcentaje de esta dependerá de su especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de muestra, la cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores, a causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas.

## **2.6 Nutrientes o elementos químicos usados en la hidroponía**

De acuerdo a Resh (1987), de los 114 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas, no obstante muchos de estos no se consideran esenciales para el crecimiento, solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas.

Para el mismo autor Resh (1987), estos están divididos entre macro nutrientes (macro elementos), aquellos requeridos relativamente en gran cantidad por las plantas, y los micro nutrientes (elementos menores), aquellos que son necesitados considerablemente en menor cantidad. Los macro elementos incluyen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio, los micro elementos incluyen hierro, cloro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno.

La proporción relativa de iones que debemos añadir a la composición se compara con la necesidad en la formulación de nutrientes, por ejemplo, una molécula de Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) proporciona un ion de Potasio ( $\text{K}^+$ ) y otro ión de Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), así como una molécula de Nitrato de Calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) nos da un ión de Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y dos iones de Nitrato ( $2 \text{NO}_3^-$ ), INIA (2000).

Las soluciones nutritivas concentradas, contienen todos los elementos químicos que las plantas necesitan para su desarrollo y adecuada producción de raíces, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. Si cualquiera de los elementos de las soluciones se agrega al medio en proporciones inadecuadas, estos efectos pueden ser tóxicos para la planta, Sánchez (2004).

### **2.6.1 Solución nutritiva.**

Según Penningsfield (1983), las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en la dosis conveniente, debiendo cumplir, junto a los elementos nutritivos, la que efectúan en el suelo los

microorganismos y los coloides. Así púes, debemos dar gran importancia a la fabricación y control de las soluciones nutritivas.

Según Barrios (2004), hay que considerar a la planta como un laboratorio muy complejo que se sostiene y alimenta de la tierra a través de sus raíces, elaborando sus nutrientes en las hojas, ayudada por la luz solar. En el método hidropónico, la planta debe encontrar las mismas condiciones ambientales de la naturaleza, y en lo posible facilitar las reacciones químicas en el interior del tejido vegetal, es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable.

Según Izquierdo (1993), dice que de los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo) entran a la planta, el déficit de solo uno de ellos limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el cultivador, de acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos.

El mismo autor Izquierdo (1993), afirma que, la localización de los síntomas de deficiencia en las plantas se relaciona mucho con la velocidad de movilización de los nutrientes a partir de las hojas viejas hacia los puntos de crecimiento en el caso de los elementos más móviles (nitrógeno, fósforo, potasio) que son translocados rápidamente, los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas. Los elementos inmóviles, como el calcio y el boro, causan síntomas de deficiencia en los puntos de crecimiento.

En algunos elementos, el grado de movilidad depende del grado de deficiencia, la especie y el nivel de nitrógeno, hay muy poca movilidad de cobre, zinc y molibdeno desde las hojas viejas hacia las hojas jóvenes, cuando las plantas están deficientes en esos elementos, Izquierdo (1993).

Para Fossati (1986), en las cenizas de los vegetales encontramos siempre presentes, en porcentajes relativamente elevados, los llamados macro elementos, que entran a formar parte, en el estricto sentido del término, de la sustancia orgánica: potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre y hierro.

Algunos como el fósforo y el azufre forman parte de la célula; el magnesio de la clorofila; el fósforo, calcio y el hierro participan en el cambio de los fenómenos fisiológicos. El boro, el cobre, cloro. Magnesio y zinc presentes en porcentajes infinitamente pequeños son llamados en cambio elementos menores o micro elementos, su función no es del todo clara, permaneciendo constante el hecho de que sus eventuales carencias dan lugar a enfermedades orgánicas, Fossati (1986).

### **2.6.2 Sales y minerales.**

Según Resh (1997), las plantas como los animales y seres humanos requieren alimento para su desarrollo y crecimiento, estos alimentos están compuestos por ciertos elementos químicos a menudo requeridos como elementos alimenticios o nutricionales de la planta.

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

### 2.6.3 Funciones de los elementos nutritivos en las plantas.

Cuadro 1. Funciones de los elementos nutritivos.

Elemento	Absorbido en forma	Funciones
Nitrógeno	$\text{NO}_3$ y $\text{NH}_4$	Da el color verde intenso a las plantas. Fomenta el rápido crecimiento. Aumenta la producción de hojas. Mejora la calidad de las hortalizas. Aumenta el contenido de proteínas en los cultivos de alimentos y forrajes.
Fosforo	$\text{P}_3\text{O}_5$	Estimula la rápida formación y crecimiento de las raíces. Facilita el rápido y vigoroso a las plantas. Acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos. Ayuda a la formación de semillas. Da vigor a los cultivos para defenderse del rigor del invierno.
Potasio	$\text{K}_2\text{O}$	Otorga a las plantas gran vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas. Ayuda a la producción de proteína de las plantas. Aumenta el tamaño de las semillas. Mejora la calidad de los frutos.
Calcio	$\text{Ca O}$	Activa la temprana formación y el crecimiento de las raicillas. Mejora el vigor general de las plantas. Neutraliza las sustancias toxicas que producen las plantas. Estimula la producción de semillas. Aumenta el contenido de Calcio en el alimento humano y animal.
Magnesio	$\text{MgO}$	Es componente esencial de la clorofila. Es necesario para la formación de los azucares. Ayuda a regularla asimilación de otros nutrientes. Actúa como transportador del fosforo dentro de las plantas. Promueve la formación de grasas y aceites.
Cobre	$\text{Cu}$	El 70% se concentra en la clorofila y su función más importante se aprecia en la asimilación.

Boro	B	Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de las frutas, verduras y forrajes, está relacionado con la asimilación del calcio y con la transferencia del azúcar dentro de las plantas. Es importante para la buena calidad de las semillas de las especies leguminosas.
Hierro	Fe	No forma parte de la clorofila, pero está ligado con su biosíntesis.
Magnesio	Mg	Acelera la germinación y la maduración. Aumenta el aprovechamiento del calcio, magnesio y el fósforo. Cataliza en las síntesis de la clorofila y ejerce funciones en la fotosíntesis.
Zinc	Zn	Es necesario para la formación normal de clorofila y para el crecimiento. Es un importante activador de las enzimas que tienen que ver con la síntesis de proteínas, por lo cual las plantas deficientes en zinc son pobres en ellas.
Molibdeno	Mo	Es esencial en la fijación del nitrógeno que hacen las legumbres.

**Fuente:** Huterwal (1991).

Según Huterwal (1991), los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo), entran a la planta a través de las raíces. El déficit de solo uno de ellos limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el cultivador. De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad) los 13 nutrientes extraídos normalmente del suelo son clasificados en tres grupos:

## 2.7 pH en la solución.

De acuerdo a Fossati (1986), el grado de acidez o de alcalinidad de una solución varía de 0 a 14, las soluciones con pH inferior a 5 o superior a 8 no puede ser usado en hidroponía, porque son ácidas o muy alcalinas respectivamente. Las variaciones

del pH son determinadas por los elementos químicos que componen o integran las soluciones, la solución tendrá un determinado pH en función del porcentaje de productos químicos (ácidos, alcalinos o neutros) que la compongan.

De acuerdo a Alvarez (1999), si la raíz de la planta no se encuentra en un medio con el pH adecuado, no absorberá los nutrientes aún cuando éstos existan en el medio de cultivo, el rango de pH en el cual se favorece el crecimiento de la mayoría de los cultivos está entre 5.5 y 6.5, sin embargo, algunas especies se desarrollan en medios con lecturas de pH desde 5 (como la rosa) y hasta de 7.5 como la acelga. Este es un punto que se considera en el diseño de la solución nutriente.

Es conveniente revisar el pH adecuado para el cultivo deseado, lo que mejorara el manejo y condicionara la asociación de diferentes variedades en un mismo sistema de irrigación, Alvarez (1999).

Según Penningsfield, (1983). Es necesario un frecuente control del valor del pH, porque para cambios bruscos de la concentración de iones hidrógeno son posibles fuertes daños en las plantas. Para reacciones neutras o ligeramente alcalinas suelen inmovilizarse el fósforo, hierro, boro y manganeso, lo cual suele dar motivo a las carencias correspondientes.

Para el mismo autor, deben buscarse valores de pH entre 5.5 y 6.7 como zona más adecuada, y como es frecuente que se eleve ligeramente el valor de pH a lo largo del cultivo, se deberá en este caso aportar ácido sulfúrico de forma que se vuelva a la zona deseada, el valor óptimo del pH en el cultivo de hortalizas hidropónicas es de 6 a 6.5 de pH.

## **2.8 Conductividad eléctrica.**

Según Alvarez (1999), la conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente

eléctrica, el agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica.

Según Resh (1987), la conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua; las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva e iones con carga negativa, que conducen electricidad, el agua destilada no contiene sales disueltas y, por lo tanto, no conduce la electricidad y tiene una conductividad eléctrica cercana a cero.

Sin embargo, cuando la concentración de las sales llega a un cierto nivel, la conductividad eléctrica ya no está directamente relacionada con la concentración de las sales en el agua, esto es porque se forman pares de iones, los pares de iones debilitan la carga de uno al otro, de modo que por encima de un cierto nivel, una cantidad más alta de sales no resultará en una conductividad eléctrica más alta, Resh (1987).

INIA (2000), la conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: a más alta temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica, la conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua, muchos medidores de conductividad eléctrica que existen en el mercado normalizan automáticamente las lecturas a 25°C.

Resh (1987), la conductividad eléctrica está muy relacionado con la cantidad de sólidos disueltos en la solución, lo que permite determinar la vida útil de la solución que depende principalmente del porcentaje de de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas.

Las plantas van consumiendo los nutrientes proporcionados, lo cual significa que la conductividad eléctrica también irá descendiendo hasta que la solución ya no contenga la cantidad necesaria para el crecimiento de las plantas, ya es necesario el cambio o el aumento de nutrientes, Resh (1987).



## **2.9 Factores ambientales que influyen en el cultivo hidropónico.**

Según Sarabia (2000), durante el periodo de germinación el embrión rompe la cutícula de la semilla y emerge la radícula, para que el proceso de germinación sea óptimo se requiere de adecuadas condiciones ambientales de luminosidad, temperatura, humedad, oxigenación del sistema radicular y gas carbónico, además las semillas deben estar sanas, bien desarrolladas y haber sido cosechadas en el momento de su madurez fisiológica.

De acuerdo a Penningsfield (1983), se necesita facilitar a las plantas determinado grado de luz, temperatura, aporte de anhídrido carbónico, humedad ambiental y aeración del sustrato. Pero también deben de considerarse de forma conjunta frecuencia y técnica de riego con la composición y concentración de las soluciones nutritivas. Para obtener un completo éxito necesitamos, por último, tener en cuenta las condiciones climáticas y la época del año.

### **2.9.1 Temperatura**

Según Robertson (1958), mencionado por Penningsfeld y Kurzman (1983), las bajas temperaturas en las soluciones y el ambiente hacen que las raíces no puedan realizar la absorción de agua y elementos nutritivos, pudiendo causarse marchitamiento y clorosis.

Según Izquierdo (1993), un aumento de la temperatura por encima de un máximo, en lugar de acelerar la absorción salina inhibirá y acabara anulando el proceso. Con mayor probabilidad, los efectos inhibidores de las altas temperaturas son debidos a la deshidratación de las enzimas que repercute, ya sea directamente sobre la absorción salina, o sea sobre la síntesis de algún compuesto indispensable para dicha absorción.

Según Resh (1987), la temperatura ambiente ideal para el cultivo de hortalizas hidropónicas es de 19 a 21 °C.

Para Fossati (1986), recomienda llevar la solución a unos 20° C, y que la temperatura misma no supere en mucho la del aire, una excesiva temperatura de la solución no supone ningún inconveniente para las plantas, pero provoca fenómenos no deseados de precipitación de sales minerales en la solución. Por otra parte, la capacidad de un líquido para retener y absorber el oxígeno disminuye con el aumento de temperatura. Esto puede tener efectos negativos, sobre todo en substratos pobres en aire. Una temperatura media recomendable de la solución está alrededor de unos 20°C, esta temperatura no deberá ser mucho más baja que la del ambiente.

### **2.9.2 Luz.**

Según Devlin (1982), mencionado por Gallardo, la luz es un elemento vital para el crecimiento de las plantas, pero no todas necesitan la misma cantidad de luz, los efectos de la luz sobre la apertura y el cierre de estomas y sobre todo la fotosíntesis afectan a la absorción de sales.

Para el mismo autor Devlin (1982), los estomas abiertos aumentan la circulación en masa de agua en la corriente de transpiración y, de este modo pueden influir indirectamente sobre la absorción salina. La energía proporcionada por la fotosíntesis representa un aporte energético para la absorción de sales, y el oxígeno desprendido mejora las condiciones para la absorción de iones.

De acuerdo a Resh (1987), las plantas pueden funcionar normalmente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100% de humedad relativa en esta, no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de las algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que dará lugar a una competencia en la toma de nutrientes.

La presencia de algas reducirá la acidez de la solución, creará colores extraños, competirá por el oxígeno durante la noche e introducirá productos tóxicos a través de su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento de

éstas. Para eliminar el crecimiento de las algas se construyen contenedores de material opaco, Resh (1987).

### **2.9.3 Humedad del ambiente.**

Para Penningsfeld (1983), para procurar las más adecuadas condiciones de asimilación es de gran importancia el sostenimiento de una humedad ambiente suficiente, puesto que este ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan los estomas. En caso de no existir suficiente humedad ambiente no sería posible la absorción de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto no tendría lugar la asimilación. En este sentido son especialmente exigentes las plantas con su sistema foliar, pues transpiran mucha agua.

Según Fossati (1986), una humedad relativa insuficiente impide la absorción del gas carbónico y en consecuencia, la absorción radical. Plantas con un aparato foliar desarrollado evaporan fuertes cantidades de agua, y por consiguiente son muy exigentes respecto al grado higrométrico.

Para Penningsfeld (1983), cuando la tasa higrométrica alcanza niveles idóneos para el cultivo, se procede con la humificación del aire se puede evitar esto hasta un cierto grado y, por lo tanto, incrementar el crecimiento. La forma más usual de acelerar la higrometría es por, medio del riego de los pasillos y de la superficie de las hojas.

### **2.9.4 Agua.**

Canaza (1999), afirma que, el material de base en hidroponía es el agua, que tiene la función de mantener en disolución los elementos nutritivos, siempre que no contenga sustancias tóxicas disueltas y que no presente un grado de salinidad elevado, el principal requisito es que el agua sea apta para el consumo humano o de animales, y por lo tanto también será apta para las plantas.

Según Huterwal (1991), el tipo ideal de agua, pareciera ser el agua destilada; ninguna más pura, sin embargo, su empleo no es económico. Además está

totalmente despojada de los llamados oligoelementos. El agua de lluvia es, sin duda, la más apropiada a nuestros fines, si algún elemento tiene agregado ello no perjudicaría, al contrario resulta útil.

Para Resh (1987), las aguas duras contienen sales de calcio de magnesio que son elementos esenciales en la preparación de nutrientes. Normalmente, dichas aguas tienen niveles aceptables para ser utilizadas en el cultivo hidropónico. La mayoría de las aguas duras contienen calcio y magnesio como carbonatos o sulfatos.

El mismo autor afirma que, antes de utilizar cualquier tipo de agua, es necesario efectuar un análisis de ésta, al menos para ver su contenido en calcio, magnesio, hierro, carbonato, sulfato y cloro.

De acuerdo a Fossati (1986), las aguas naturales contienen en general oligoelementos en cantidad tal, como para no tener que preocuparse por estos minerales secundarios, esto no obstante, deberemos pensar siempre en la posibilidad de insuficiencia de hierro. Si se trata de aguas manantiales, ríos, lagos o pantanos es necesario, antes de usarlas, asegurarse de su composición. Generalmente no son deficitarias en oligoelementos, pero a veces se corre el riesgo de que no sean idóneas para el cultivo a causa de su alto contenido de elementos extraños y nocivos.

Según Barros (1999), en cuanto a la calidad del agua, como regla general, si el agua que se utilizará es apta para el consumo humano, servirá para el cultivo hidropónico. También se podrán utilizar aguas con alto contenido de sales, pero habrá que tener en cuenta el tipo de cultivo que se hará, ya que solo algunos de ellos (el tomate, el pepino, la lechuga o los claveles) son más tolerantes.

## **2.10 Tuberías o material para canales de cultivo.**

Según Uribe (2000), el recipiente es el componente en el que la raíz de la planta debe recibir protección de los agentes externos, lo mismo que las mejores condiciones para que se desarrolle.

Cualquier modalidad del cultivo hidropónico que se adopte, dada la necesidad de dar al sistema radicular un aislamiento adecuado; el contenedor debe tener características como el tamaño suficiente para albergar las raíces del cultivo, debe asegurar el desarrollo normal de las raíces con un adecuado drenaje, oxigenación y protección frente a factores ambientales externos como temperatura, radiación solar, contaminación y al acceso de plagas y enfermedades, Uribe (2000).

Así mismo el recipiente debe ser económico, durable, químicamente inerte é impermeable, de acuerdo a las necesidades del sistema, INIA (200).

De acuerdo a Huterwal (1991), las condiciones indispensables para los recipientes deben ser que estos sean impermeables y opacos, para evitar así la pérdida de agua de la solución que de otro modo filtraría a través de las paredes y la acción de la luz que es dañina para las raíces.

Los contenedores pueden construirse de plástico, pero conviene que sea de buena calidad y espesor suficiente, según las dimensiones. Sus partes han de estar bien ajustada para evitar pérdidas, evitar que el material a emplear pueda reaccionar con los elementos químicos de la solución, se aconseja impermeabilizar en todos los casos el interior los recipientes, Huterwal (1991).

Para Izquierdo (1993), las dimensiones (largo y ancho) de los contenedores pueden ser muy variables, pero su profundidad en cambio no debe ser mayor de 10a 12 centímetros y el largo no mayor a 18 metros, dado que en el sistema huerta hidropónica popular no es necesario un espacio mayor para el desarrollo de las plantas.

Las dimensiones mínimas son muy variables, pues dependen de la disponibilidad de espacio, los materiales que se puedan conseguir a menor costo y de los objetivos de la huerta, Izquierdo (1993).

### **2.11 Germinación de semillas.**

Huterwal (1991), afirma que, sin colocarla en tierra, ni darle alimento alguno, la semilla germinará a poco que las condiciones de temperatura y humedad le sean favorables. En la técnica hidropónica se debe mantener a la semilla con suficiente cantidad de agua para que la corteza exterior se abra y empiece a desarrollarse.

De acuerdo a Canaza (1999), la luz puede estimular o inhibir la germinación de las semillas de acuerdo a la variedad de plantas, por lo tanto se debe proteger lo necesario a la semilla. Así mismo si no existe aire en abundancia se asfixian, por eso hay que tener cuidado con la cantidad de agua que se suministra y con el tipo de medio en el cual se siembra.

### **2.12 Ambientes controlados.**

Las estructuras de protección usados en cultivos hidropónicos deben ser especialmente diseñados para evitar daños por variación extrema de temperatura, tanto máximas como mínimas, además deben atenuar la excesiva radiación solar especialmente en días despejados lo cual sumado al bajo contenido de humedad del ambiente, pueden ocasionar daños a nivel de raíces, provocar la aparición de síntomas de deficiencias o quemaduras por radiación solar y evitar un desarrollo normal de la planta. Resh (1987).

Para Mejía en las Memorias del “Seminario sobre agricultura en invernaderos”, en 1985, mencionado por Gallardo (1990), el uso de invernaderos solares en la región andina de Bolivia es de fundamental importancia en virtud de las condiciones climáticas y meteorológicas reinantes.

Gallardo (1990), según sus datos, indica que las bajas temperaturas registradas fluctúan entre los -10 a 20° C, con una humedad relativa que varía entre 10 a 70 %. La precipitación pluvial anual es baja con 8 a 9 meses de sequía por año y tormentas de nieve y granizo frecuentes que se presentan fundamentalmente en primavera e invierno.

Para Hartmann (1990), la mayor pérdida de calor en un ambiente atemperado se presenta a través del techo o lamina transparente durante la noche y/o días nublados. Esta pérdida puede reducirse hasta en un 50% si se coloca dos capas de láminas protectoras que crean un colchón de aire térmico. Otra alternativa consiste en cubrir durante horas de la noche la lámina transparente con esteras de totora, paja o tela.

Mackinnon D.1978, mencionado por Gallardo (1990), indica que son varios los materiales y tipos de acumuladores pasivos de calor que pueden utilizarse en el Altiplano. Los más aconsejables por su buena capacidad de acumulación de calor y por su costo reducido son: el adobe, la piedra y el agua. De estos el más eficiente es el agua que puede conservar hasta un 50% más de calor hacia la masa fría, es también más rápida, lo cual permite un intercambio permanente con el ambiente.

### **2.13 Cultivo hidropónico para la producción de hortalizas.**

Según la Enciclopedia de la Agricultura y Ganadería Océano (2007), la producción elevada y anticipada de cultivos hortícolas (lo que se denomina tradicionalmente cultivos fuera de estación) ha llevado a la búsqueda y perfección de sistemas que permitan este tipo de cultivos aun cuando las condiciones ambientales resulten desfavorables.

Para poner en práctica dichos sistemas de producción, que recibe el nombre de semiforzada o forzada, son precisos una serie de elementos especiales, tales como: semilleros, invernaderos, sistemas hidropónicos, sistemas de riego y fertilización,

sustratos, y especialmente especies y variedades de hortalizas que se adapten bien a estos sistemas, Enciclopedia de la Agricultura y Ganadería Océano (2007).

Según los datos de producción de La Huerta (2006), las hortalizas con mayor éxito comercial y de mayor producción de los invernaderos “La Huerta” de la localidad de Chicani son la lechuga, rúcula, berro, espinaca y la acelga.

### **2.13.1 Características de la lechuga.**

Según la Fundación Eroscki (2010), la lechuga forma el género *Lactuca* y pertenecen a la familia de las Asteráceas (Compuestas), que abarca más de 1000 géneros y 20.000 especies, de las que muy pocas se cultivan. Esta familia, cuyo nombre actual deriva del griego Aster (estrella), se caracteriza porque sus flores están compuestas por la fusión de cientos e incluso miles de flores diminutas. Dentro de las Asteráceas se encuentran muchos tipos de hortalizas de diversas especies: de hoja (achicoria, lechuga, endibia, escarola), de flor (alcachofa) o de tallo (cardo). El término científico *lactuca sativa* también incluye a los cogollos y lechugas de tallo pequeño que forman una cabeza parecida a la de la col.

Para Mallar (1978), la lechuga (*lactuca sativa L.*), es originaria de las costas del sur y sureste del Mar Mediterráneo, desde Egipto hasta Asia Menor. Los egipcios la comenzaron a cultivar 2400 años antes de esta era y se supone que la utilizaban para extraer aceite de la semilla y para forraje; en pinturas encontradas en tumbas egipcias aparecen plantas que semejan lechugas romanas o tipo roseta, con hojas alargadas y terminadas en punta.

Llegó a América en 1494, solo dos años después del primer viaje de Colón. Se considera que la lechuga conocida en esa época era la de tipo roseta o bien la de hoja (variedad crespá), la lechuga de cabeza se difundió probablemente en el siglo XVI; en 1543, se publicó el *Krauterbuch* de Leonard Fuchs que incluye un dibujo de la lechuga en flor, con el Título de *lactuca capitata*, Mallar (1978).



### 2.13.1.1 Clasificación taxonómica de la lechuga.

La lechuga presenta la siguiente clasificación botánica:

<b>Orden</b>	Asterales
<b>Familia</b>	Asteraceae
<b>Tribu</b>	Lactuceae
<b>Género:</b>	Lactuca
<b>Especie:</b>	Lactuca sativa
<b>Nombre común:</b>	Lechuga señorita
<b>Variedad:</b>	Whitte Boston

Enciclopedia de la Agricultura y Ganadería Océano (2007) y Mallar, (1978)

### 2.13.1.2 Características botánicas de la lechuga.

Se trata de una planta anual, que dispone de un sistema radicular profundo y hojas dispuestas en cogollo que difieren ampliamente entre variedades, tanto en forma tamaño y color, según Mallar (1978) y la enciclopedia práctica de la Agricultura y Ganadería (2007), presenta las siguientes características botánicas:

- Sistema radicular: la raíz principal es pivotante y tiene numerosas raíces laterales. La mayor parte de las raíces laterales se desarrollan superficialmente y en gran cantidad.
- Tallo: es muy corto de forma cilíndrica se desarrolla después de que la planta termine su fase de aprovechamiento comercial. Se ramifica hacia el final y da lugar a numerosas hojas un una roseta de hojas que varían en tamaño, textura, forma y color según los cultivares.
- Hojas: son de diferentes formas de acuerdo a la variedad hay desde las redondeadas hasta las ovaladas con bordes lisos o rizados están dispuestas en cogollos o basales.

- Tallo floral: se forma una vez pasada la madurez comercial, puede llegar a medir 1 – 1,20 m en algunos cultivares, dando lugar a numerosas hojas y flores dispuestas en capítulos. Los capítulos de 15 a 25 flores están reunidos en panojas o corimbos, la lechuga generalmente es autógama, debido a que la estructura de la flor facilita la autofecundación. El androceo está formado por 5 estambres, cuyos filamentos están insertos en el tubo de la corola y unidos por las anteras formando un tubo que rodean al estilo.
- Fruto: es un aquenio de color marrón oscuro casi negro, marrón más claro, gris amarillento o blanco grisáceo; mide unos dos milímetros de longitud.

### 2.13.1.3 Características agroecológicas de la lechuga.

Según Mallar (1978); la Enciclopedia práctica de la Agricultura y Ganadería (2007), presenta las siguientes características agroecológicas:

- **Clima:** se desarrolla mejor en un clima templado fresco.
- **Temperaturas:** las temperaturas necesarias para obtener un buen crecimiento y calidad son los siguientes: Promedio óptimo 15° - 20° C máximo 21° - 24° C y mínimo 7° C.

El promedio mensual óptimo 15° - 20° C. favorecen la formación de cogollos, las temperaturas altas dan lugar al desarrollo prematuro del tallo, floración y un sabor amargo en las hojas con falta de firmeza en las cabezas. Las temperaturas altas también provocan la aparición de quemaduras de los extremos de las hojas.

Las temperaturas para lograr una buena germinación de semillas son: Óptima 24° C, mínima 1,6° C y máxima 29,4° C.

Las semillas de lechuga son muy sensibles a las temperaturas elevadas, no germinan a más de 30° C de temperatura del sustrato o se produce una fermentación de descomposición.

- **Suelo:** Los mejores suelos para el cultivo de las lechugas en suelo normal (no hidropónico) son los arcillo arenosos con una adecuada cantidad de materia orgánica, el pH óptimo es de 6 – 6,5 con un pH de 5 el rendimiento puede disminuir hasta en un 30%.
- **Época de siembra:** la lechuga puede cultivarse todo el año en ambientes forzados como invernaderos.
- **Densidad de siembra:** la cantidad de semilla que se puede usar en zonas de mayor producción es de 1 – 1,5 kg/ha en condiciones adecuadas de temperatura en almácigos controlados.
- **Distanciamiento del trasplante:** en condiciones adecuadas y según la variedad producida se recomienda de 20 cm entre plantas por 30 cm entre surcos en lechuga señorita y de 30 por 35 cm en el caso de lechuga crespita.
- **Plagas y enfermedades más comunes:** la plaga más común es el pulgón (*Myzus persicae*, *Macrosiphum solani*), Se trata de una plaga sistemática en el cultivo de la lechuga, siendo su incidencia variable, según las condiciones climáticas. El ataque de los pulgones suele ocurrir cuando el cultivo está próximo a la recolección.

Aunque si la planta es joven, y el ataque es considerable, puede arrasarse el cultivo, además de ser entrada de alguna virosis que haga inviable el cultivo. Las enfermedades comunes son; antracnosis por (*Marssonina aphanattoniana*), botritis por (*Botrytis cinerea*), mildiu veloso por (*Bremialactucaea*), esclerotinia causado por (*Sclerotinia sclerotiorum*) y septoriosis causado por (*Septoria lactucaea*).

#### 2.13.1.4 Composición y valor alimenticio de la lechuga.

La lechuga presenta la siguiente composición nutricional:

**Cuadro 2** Contenido nutricional promedio en 100 g de hojas de lechuga

Compuesto	Contenido
Agua	94 g
Proteínas	1,6 g
Grasas	0,2 g
Hidratos de carbono	2,1 g
Vitamina B1 (tiamina)	0,1 mg
Vitamina B2 (riboflavina)	0,1 mg
Vitamina B5 (ácido pantoténico) pantoténico)	0,5 mg
Vitamina A (retinol)	2600 UI
Vitamina C (ácido ascórbico)	0,024 g
Cenizas	0,59 g

**Fuente:** Hidrohortalizas.com.ar (USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2008).

**Cuadro 3** Contenido de minerales en cada 100 g de hojas de lechuga:

<b>Minerales</b>	<b>Contenido (mg)</b>
Fósforo	23,0
Potasio	257,0
Calcio	32,0
Magnesio	13,0
Zinc	0,17
Cobre	0,023
Manganeso	0.133
Sodio	5,0
Hierro	0,33

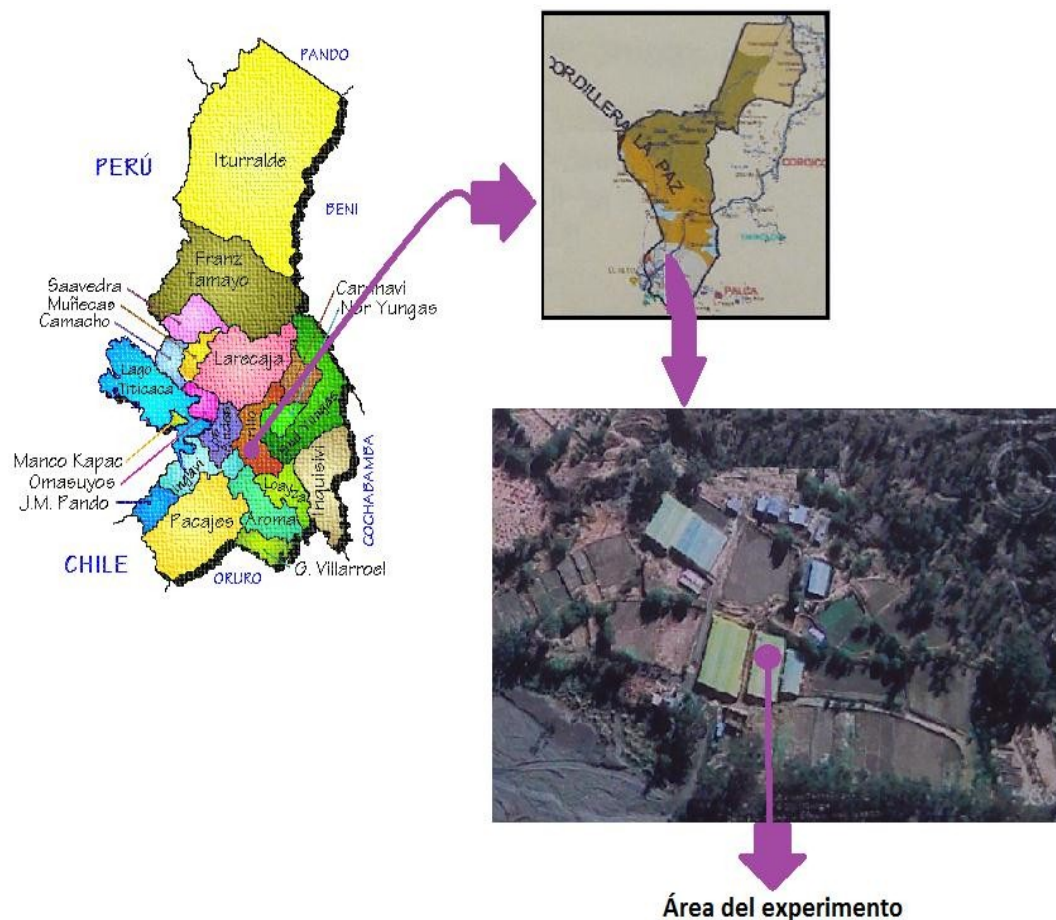
**Fuente:** Hidrohortalizas.com.ar (USDA Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 2008)

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota, ubicado dentro del campus universitario de la Universidad Mayor de San Andrés, dependiente de la Facultad de Agronomía, al sur de la ciudad de La Paz; el Centro Experimental de Cota Cota se encuentra a una altitud de 3445 m.s.n.m. situándose a 16°32'10" latitud Sur y 68°03'51" longitud Oeste con una temperatura media de 11.5 °C (Instituto Geográfico Militar, 2007).



**Figura 1.** Localización geográfica del experimento; Instituto Geográfico Militar (2007).

## **3.2 Características ecológicas de la región.**

### **3.2.1 Clima promedio.**

Las condiciones climáticas son de cabecera de valle, se caracteriza por ser seca durante gran parte del año, pues la estación de lluvias se concentra con altas precipitaciones en los meses de diciembre hasta febrero, la precipitación anual de la zona está alrededor de los 488.53 mm año y la temperatura promedio es de 21° C, en la época invernal la temperatura puede bajar hasta – 2° C; en noviembre se presentan vientos fuertes con dirección este, la temperatura media es de 13.5° C, la humedad relativa media es de 46% (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014).

### **3.2.2 Suelo.**

Para Chilon (1996), los suelos son arcillosos y franco arcillosos con pH ligeramente alcalino, con baja porosidad y elevada compactación, impidiendo la infiltración del agua y su almacenamiento, con un alto riesgo de erosión. La capa arable es poco profunda estos suelos son muy aptos para el cultivo de alfalfa y otras leguminosas, por ser muy superficiales, limitados por el contacto lítico, con muy poco desarrollo genético.

Presenta grava, grava pequeña y regular materia orgánica. Los suelos de la planicie son más profundos (0.20-0.40 m) aptos para agricultura intensiva. Existe menor proporción de terrazas naturales formadas a niveles anteriores a la planicie; y generalmente son destinadas a la explotación agrícola. (Chilón 1996).

### **3.2.3 Vegetación.**

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

La producción agrícola se realiza a campo abierto mediante la rotación de cultivos y comprende: maíz, papa, haba, arveja, cebolla, betarraga entre otros. En ambiente protegido (carpas solares la producción es hortofrutícola: frutilla, pepinillo, tomate, lechuga y otros de acuerdo a los trabajos de investigación que se desarrollen. La producción pecuaria comprende la crianza y manejo de aves (gallinas ponedoras, pollos de engorde y patos), porcinos, cuyes, conejos.

### **3.3 Materiales**

#### **3.3.1 Material vegetal**

El material vegetal que se utilizo en la investigación, fue la variedad de lechuga Whitte Boston, conocida como la variedad señorita, muy conocida en el mercado por ser de ciclo corto y sabor agradable.

#### **3.3.2 Material de laboratorio**

- Probeta de 100 ml
- Probeta de 50 ml
- PH metro
- Conductímetro
- Vernier
- Balanza analítica
- Vaso de precipitados

#### **3.3.3 Material de campo**

- 1 Tanque de 1000 l
- 1 bomba de 1 HP
- 1 hoja de esponja (2m x1 m) de 3 cm de espesor
- 12 hojas de plastofor de 1 cm



- 10 hojas de plastofor de 2 cm
- 6 bandejas de siembra de 138 plantas
- 3 litros de lavandina
- ¼ litro de vinagre
- 2 baldes de 20 litros

#### **3.3.4 Material químico**

- Plant Prod Canada (3 kg)
- Nitrato de amonio  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (3 Kg)
- Nitrato de Calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (3 Kg)
- Sulfato de magnesio hepta hidratado  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (2 Kg)
- Nitrato de potasio  $\text{KNO}_3$  (1 Kg)
- Soda Caustica

#### **3.3.5 Material de escritorio**

- Calculadora
- Computadora
- Hojas bond
- Lápices
- Cámara fotográfica
- Regla

### **3.3.6 Material para la adecuación de la pirámide y piscinas**

- 7 barras de tubo PVC sanitario de 3"
- Platina de 1 cm
- Politubo de 1'
- 12 tapas
- 1 bote de 500 ml Pegamento PVC
- 6 Emisores de 2 mm
- 1 metro microtubo de 2mm
- 1 llave de paso de 1'
- 100 remaches de 1 cm
- 100 tornillos de 1'
- 1 kg clavos de 2'
- 16 m<sup>2</sup> agrofilm
- 1 barra tubo PVC sanitario de 4'
- 6 codos de tubo sanitario de 4'
- 2 T de tubo sanitario de 4'
- Tabas de 1' x 3' x 3 m

### **3.4 Metodología.**

#### **3.4.1 Readecuación del modulo de investigación.**

##### **3.4.1.1 Armado de los canales de cultivo y pirámide.**

- Se acondiciono y limpio la carpa designada por el Centro Experimental Cota Cota, de acuerdo a convenio con el docente de la materia de horticultura.

- Se instalaron seis canales de cultivo completando el lado restante de una pirámide ya existente, necesarios para realizar el experimento, estos canales de cultivo fueron contruidos con tubo PVC corriente, (Anexo, fotografía 1).
- Los tubos PVC fueron cortados por la mitad longitudinalmente y unidas entre tubos hasta obtener el largo adecuado de canal, en la pirámide; esto se hace para que estos canales sean fáciles de limpiar y de fácil trasplante.
- Se procedió a cortar y doblar las platinas de sostén de los canales de cultivo de acuerdo al diámetro del tubo, con la ayuda del taladro se realizaron agujeros en las platinas para fijarlas con tornillos a la pirámide y sostener los canales de cultivo de PVC.
- La pendiente, de acuerdo a Resh (1987), en el sistema de NFT debe tener entre 1,5 % a 2,5 %, dependiendo al tipo de cultivo y al largo de la carpa. El transito o la circulación de nutrientes debe ser lo más favorable para las plantas, no debe ser muy rápida pues dificultaría a las raíces la absorción de los nutrientes; no debe ser muy lenta pues se produciría encharcamientos, lo cual ocasionaría la falta de oxigenación de las raíces, facilitando la aparición de enfermedades y algas.
- Después de nivelar y darle la pendiente al piso de la carpa, la pendiente acabada fue de 2 % para un largo en canales de cultivo de 20 m, recomendado en la Guía del Huerto Hidropónico (2000).
- Luego de terminar la pirámide se procedió a construir las piscinas de producción de raíz flotante de acuerdo a diseño experimental, se hicieron cuatro piscinas de 1.8 m de largo 0.6 m de ancho y 10 cm de alto.

#### **3.4.1.2 Sistema de irrigación y de retorno**

- Para poner en marcha el sistema NFT y el sistema de raíz flotante en piscinas, se armo el sistema de distribución de solución de nutrientes:
- Se conecto la bomba a las pirámides y a las piscinas a través del politubo de 1 pulgada, teniendo cuidado que la bomba tenga un retorno para oxigenar la solución,

- Se colocaron los emisores en la tubería para irrigación de cada canal de cultivo dentro la pirámide,
- En cada final de cultivo se puso el tubo corrugado para recolección de la solución y fluya nuevamente al tanque para refrescarse con solución.
- Escavando y dándole la pendiente necesaria se instalo el sistema de retorno de solución con tubo corriente de PVC de 4'.

### **3.4.2 Almacigo en esponja.**

Para la siembra de las plantas de lechuga, en ambos sistemas tanto NFT como de raíz flotante:

- Se marco la hoja de esponja en cuadrados de 3 x 3 cm, en medio de cada cuadrado en la parte superior, se hicieron orificios de poca profundidad para alojo de las semillas,
- Se corto las esponjas obteniéndose cubos de 3 x 3 x 3 cm, luego se procedió a lavarlas con vinagre para eliminar los restos químicos propios de su fabricación, luego se enjuago con abundante agua para eliminar el vinagre quedando listo para la siembra.
- Se acomodaron los cubos de esponja lavadas y enjuagadas en la bandeja de germinación.
- Procediéndose a la siembra colocando dos semillas por cada cubo; luego se regaron las bandejas y fueron cubiertas con plastofor y envueltas con plástico negro, y luego se pusieron en lugar templado bajo sombra.

### **3.4.3 Formulación de las soluciones nutritivas.**

Para una adecuada formulación de sales en cualquier cultivo, se debe determinar algunas características, tanto del agua como del cultivo, específicamente se deben conocer los requerimientos nutricionales del cultivo, el contenido de sales del agua, y la disponibilidad de sales con las que se cuenta.

Se debe indagar meticulosamente la necesidad nutricional del cultivo, en toda sus fases de crecimiento.

### 3.4.3.1 Requerimientos nutricionales del cultivo de la lechuga.

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

**Cuadro 4** Requerimiento de nutrientes para lechuga en ppm o mg/l.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
200	50	210	200	50	113	5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.05

### 3.4.3.2 Contenido de sales del agua, dureza del agua.

Según Resh (1987), cualquier agua que sirve para el consumo humano se puede usar para cultivos hidropónicos cuidando de que este no tenga hipoclorito de sodio, dañino para las raíces.

En el Centro Experimental Cota Cota, se tiene agua proveniente de la red pública y también agua de pozo proveniente de la percolación del río existente, lo que significa que el agua contiene hipoclorito de sodio muy usado en el tratamiento de aguas, para conocer el contenido de sales del agua se llevaron a analizar muestras y poder formular los nutrientes para el cultivo.

### 3.4.3.3 Sales disponibles.

.Sales necesarias:

Composición	Fertilizante
Solución "A"	Nitrato de Potasio
	Nitrato de Calcio
Solución "B"	PlantProd. Canada
	Sulfato de Magnesio
	Nitrato de Amonio
	Quelato de Hierro

Requerimiento de sales para la solución, después de disminuir el contenido del agua se tiene el siguiente requerimiento:

**Cuadro 5** Requerimiento de sales menos sales de agua.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
198	49.8	209	197	50	113	5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.05

**Cuadro 6** Cantidades necesarias

Composición	Fertilizante	Requerimiento en gr.
Solución "A"	Nitrato de Potasio	46,612
	Nitrato de Calcio	926,32
Solución "B"	Plant Prod. Canada	763,72
	Sulfato de Magnesio	393,82
	Nitrato de Amonio	251,21
	Quelato de Hierro	4.21

Después de determinar los fertilizantes y la cantidad a emplear, se preparo la solución “A”, y solución “B”, separando aquellos compuestos que pueden precipitar entre ellos como el Fósforo y el Calcio.

El volumen de agua que se utilizó en esta primera etapa fue de 1000 l, para verificar la formula.

Para la disolución de las sales se procedió de la siguiente manera:

- Se pesaron los fertilizantes individualmente, la solución “A” y la solución “B” en recipientes plásticos.
- Se lleno el tanque hasta la mitad, es decir 500 l.
- Se disolvió en forma individual cada solución, primeramente la solución “B” donde están los micronutrientes. En un recipiente se agitó hasta que este totalmente diluido y luego se echó al tanque. De igual forma la solución “A” de los macro nutrientes.
- Se agregó agua hasta completar los 1000 l, se cierran las llaves de paso de distribución y se abre la llave de regulación de presión o retorno al tanque, para que las soluciones se mezclen al encender la bomba y se mezclen antes de circularlas por el sistema.

El sistema de distribución de nutrientes en el ensayo fue con un caudal constante para mantener la lamina de de riego a 0,5 cm que va en aumento a medida que las raíces van creciendo, se usaron emisores de chorro continuo pues como no se usa sustrato en este sistema, se debe mantener una lamina de nutriente que mantenga húmedas a las raíces.

#### **3.4.3.4 Manejo del pH de la solución de nutrientes.**

Según Resh (1987), el pH recomendado para la producción de hortalizas y “La Guía del Huerto Hidropónico” (2000), es de 6,0 a 6,5 valor adecuado para la absorción de

nutrientes por las plantas, y para la absorción óptima del cultivo de lechuga es de 6,2 a 6,5 de pH.

En este ensayo el pH inicial después de preparar la solución de nutrientes en el tanque fue de 6,4 lo cual es aceptable para la producción.

#### **3.4.3.5 Manejo de la conductividad eléctrica (C.E.).**

Según Resh (1987), cuando la conductividad bajaba a menos de 800 ds/cm, empiezan a presentarse deficiencias nutricionales, como moteamientos, quemaduras en las puntas de raíces y otras. Por tanto se debe recambiar el nutriente al llegar la conductividad eléctrica a los 800 a 900 ds/cm.

En el ensayo, la conductividad eléctrica de la solución, al inicio de la preparación fue de 2800 ds/cm, a una temperatura de solución de 14 °C medidos en el tanque, después de circularlo la conductividad baja cada día 50 a 100 ds/cm y al onceavo o treceavo día la conductividad llega a 800 a 900 ds/cm. En días de mayor temperatura ambiente (Octubre a Mayo) se alcanzaba los 800 a 900 ds/cm más rápidamente en unos 5 a 6 días lo cual muestra que las plantas consumen las sales rápidamente y el cambio de solución se hará con frecuencias más cortas.

#### **3.4.3.6 Manejo del cultivo.**

##### **3.4.3.6.1 Siembra.**

Durante la siembra se realizó los siguientes pasos:

- 1º. Se marca con marcador y corta con el estilete, la espuma sintética de 3 cm en cubitos de 2 x 2cm, y en medio de la parte superior de cada cubito se hace un hueco de unos 2mm, para depositar la semilla, (Anexo 9)
- 2º. Luego de cortarlos, se los lava con vinagre para eliminar los elementos tóxicos retenidos por la fabricación de la espuma, y luego se las enjuaga con abundante agua para eliminar el vinagre.



- 3º. Se colocan los cubitos en la bandeja de plastroform, en cada hueco, luego se sembraron las semillas en los cubitos.
- 4º. Se regó la bandeja con agua y luego se la depositó sobre la plataforma de germinación, luego se las cubrió con plástico negro para mantener el calor y se las dejo hasta que germinen en unos 3 días.
- 5º. Después de germinado, se llevo la bandeja al contenedor o piscina donde se la regó 2 veces por día hasta que las plántulas llegaron a 7 cm de altura, en esta piscina las plántulas ya están en contacto con el nutriente y crecen sus raíces sumergidas en él, con la oxigenación del aire acumulado en el espacio entre la bandeja y el nutriente, (Anexo fotografía 5).

#### **3.4.3.6.2 Trasplante.**

Cuando las plántulas alcanzaron los 7 cm, se trasplantaron a las pirámides y a las piscinas, donde primero se limpió y desinfectó con lavandina, tanto los canales de cultivo y la cobertura, y se trasplanto de acuerdo a la distancia de los huecos, donde crecen hasta la cosecha. (Anexo fotografía 7y8).

#### **3.4.3.6.3 Número de muestra.**

Se determinó el tamaño de la muestra necesaria para poblaciones finitas como sugiere Ochoa (2009), se tomaron muestras de cuatro plantas al azar de cada tratamiento, se calculó el número de muestra como se indica en la Figura N° 10 del Anexo, descartando las que estaban en los extremos evitando efecto de borde.

#### **3.4.3.6.4 Registro de temperaturas.**

Se efectuó la medición diaria, el registro de la temperatura mínima y máxima en el ambiente atemperado, con la ayuda de un termómetro ambiental localizado en el centro de la carpa solar, en horas posteriores a las 9:00, con la finalidad analizar los datos con los promedios semanales y mensuales, y observar la influencia en el desarrollo del cultivo.

### 3.4.3.6.5 Cosecha.

Cuando las plantas de lechuga alcanzaron su mayor tamaño, esto a los 62 a 65 días después de la siembra, de acuerdo a la forma de producción en pirámide o raíz flotante, se procedió a la cosecha y retiro de los restos de esponja sujeta en la parte radicular, para posteriormente ser lavada en la parte radicular, embolsada y llevada al mercado de Achumani para su venta.

### 3.4.3.6.6 Manejo de las deficiencias nutricionales.

- En el transcurso del crecimiento de las plantas, aparecieron síntomas de desordenes nutricionales provocados por deficiencias y también síntomas por toxicidad debido al exceso de nutrientes.
- Para la identificación de los síntomas de desordenes nutricionales se usaron como apoyo varios métodos simples de observación y así lograr su corrección, estos métodos son prácticos, económicos y bastante recomendados para lugares donde es muy lejos acudir a laboratorio o demasiado caro, estos métodos son:
- El uso de “llaves” mencionadas por Resh (1987), que son características descritas en donde todas las plantas más o menos muestran similitud en los síntomas mostrados cuando presentan deficiencias y toxicidad.

## 3.4.4 Diseño experimental

En la presente investigación, se utilizó un diseño de Bloques al Azar con Parcelas Divididas, bajo el siguiente modelo estadístico (Calzada, 1982).

$$Y_{ik} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \varepsilon_{ik} + \lambda_j + \alpha_i \lambda_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- $Y_{ik}$  = Una observación cualquiera
- $\mu$  = Media poblacional del experimento
- $\beta_k$  = Efecto del  $k$  – esimo bloque
- $\alpha_i$  = Efecto del  $i$  – esimo nivel de la parcela menor
- $\varepsilon_{ik}$  = Error de la parcela principal o de la parcela mayor
- $\lambda_j$  = Efecto del  $j$  – esimo nivel de la parcela mayor
- $\alpha_i \lambda_j$  = Efecto del  $i$  – esimo nivel de la parcela menor, con la  $j$  – esimo nivel de la parcela mayor (interacción  $A \times B$ )
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error de la parcela pequeña o de la parcela menor

**Cuadro 7** Distribución de tratamientos.

Factor A (Parcela Mayor)	Factor B (Parcela Menor)	Interacción De Factores	Tratamientos
<b>TECNICAS HIDROPONICAS</b>	<b>DENSIDADES (cm)</b>	<b>Factor A * Factor B</b>	
NFT (Nutrient film technique)	D1 > 17	NFT con densidad 17 cm	T-1
	D2 >20	NFT con densidad 20 cm	T-2
RF (Raíz flotante)	D1 > 17	RF con densidad 17 cm	T- 3
	D2 >20	RF con densidad 20 cm	T-4

Los tratamientos se obtuvieron a través de la interacción de los dos factores, " dos técnicas hidropónicas y dos densidades de acuerdo a la siguiente distribución:

**T1:** Tratamiento 1 – NFT con densidad de 17 cm.

**T2:** Tratamiento 2 – NFT con densidad de 20 cm.

**T3:** Tratamiento 3 – RF con densidad de 17 cm.

**T4:** Tratamiento 4 – RF con densidad de 20 cm.

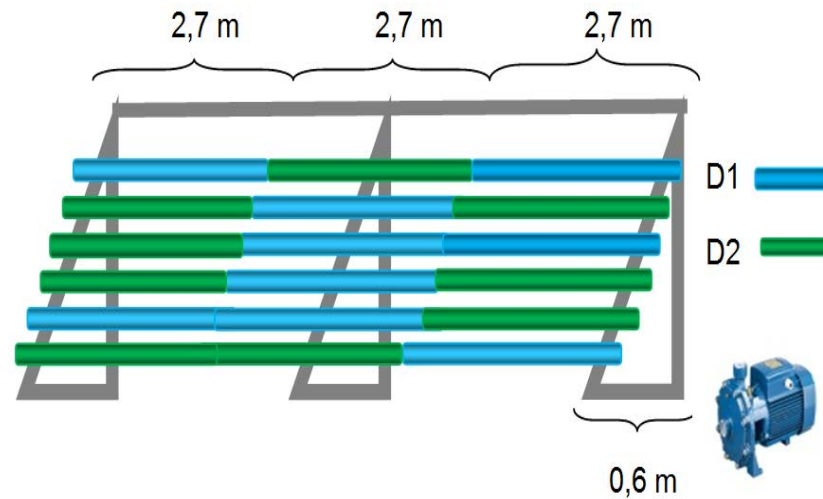
#### **3.4.4.1 Características del área experimental.**

La distribución de las unidades experimentales se realizó en todo el ambiente atemperado, teniendo las siguientes dimensiones:

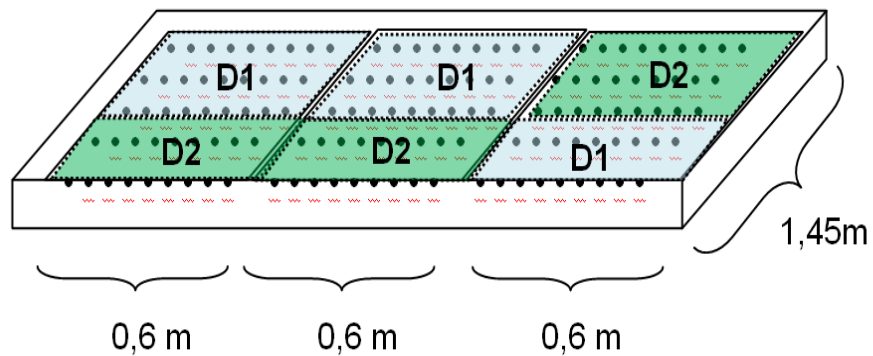
- Largo de la carpa solar : 20 m
- Ancho total de la carpa : 10 m
- Superficie total de la carpa: 200 m<sup>2</sup>
- Número de pirámides totales: 2
- Número de canales de cultivo totales por pirámide: 12
- Número de canales de cultivo usados para el experimento: 6
- Largo de canales de cultivo de la pirámide: 16,5 m
- Largo de canales de cultivo usado: 8,1 m
- Ancho de canal de cultivo : 3" (7,62 m)
- Altura de pirámide: 1,6 m
- Ancho de pirámide usada 0,6 m

### 3.4.4.2 Croquis Experimental.

La presente investigación se realizó en la carpa de Horticultura de la Centro Experimental de Cota Cota, el área experimental fue de 9 m<sup>2</sup>, dentro las pirámides de la estructura NFT (nutrient film technique) y los canales de cultivo, con la piscina de raíz flotante (RF), de acuerdo a diseño.



**Figura 2.** Vista frontal del experimento de NFT



**Figura 3.** Vista frontal del experimento de RF

### **3.4.5 Variables de respuesta.**

#### **3.4.5.1 Número de hojas por planta.**

Para evaluar esta variable (Hojas /Planta) se contaron el número de hojas por planta en la etapa de cosecha, a partir de los 49 días después de la siembra, tomando para esto como referencia las características comerciales de las plantas muestreadas (marbeteadas),

Al ser esta variable de datos discontinuos o discretos, fue necesario para el análisis estadístico transformar los datos discontinuos a datos continuos, se hace una transformación de raíz cuadrada, para tener una precisión en los resultados (Little, 1976).

#### **3.4.5.2 Área foliar.**

El área foliar en centímetros cuadrados ( $\text{cm}^2$ ) es uno de los parámetros importantes en la evaluación del crecimiento, la determinación de la misma es fundamental para cultivos que su producción principal es la hoja, (Méndez, 1993).

Para determinar los datos de esta variable, fueron tomados en la cosecha realizada a partir de los 62 días, se seleccionaron tres hojas al azar de cada muestra de cada unidad experimental las cuales se herborizaron, utilizando papel milimetrado sobre el cual se copió el contorno de una hoja de la parte media de cada planta muestreada, a medida que realizó la medición de datos, también se realizó la cosecha.

#### **3.4.5.3 Peso de materia fresca.**

En la evaluación de la variable peso de materia verde en fresco, se pesaron las muestras de cada tratamiento utilizando la balanza analítica, Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en (g/planta) después de la cosecha.

#### **3.4.5.4 Peso de materia seca.**

Para la determinación del peso de materia seca y el porcentaje de materia seca, se realizó a partir del muestreo de las plantas con marbetes, cinco hojas fueron tomadas a la zar de cada planta, las cuales fueron pesadas, posteriormente fueron llevadas a la mufla por 48 horas, y nuevamente fueron pesadas, con los pesos obtenidos finalmente se determinó el porcentaje de peso fresco de cada hoja y de cada planta en promedio.

#### **3.4.5.5 Diámetro de cuello.**

La medición del diámetro de cuello se determinó en la última etapa de crecimiento durante la cosecha, midiendo muestras por muestra de acuerdo a diseño y plantas ya establecidas para su medición, seguidamente con la ayuda de un vernier electrónico se midió el cuello de cada planta, que se encuentra entre la parte superior de la raíz y la hoja

#### **3.4.5.6 Volumen radicular.**

La obtención de este dato fue al final de la cosecha, utilizando una probeta con un volumen de agua conocido, se sumergió toda la raíz de la muestra y se registro este dato restando el volumen conocido al volumen total.

#### **3.4.5.7 Variables económicas.**

$$IB = \text{Ingreso Bruto (Bs)}$$

$$R = \text{Rendimiento (Kg)}$$

$$P = \text{Precio (Bs/Kg)}$$

##### **3.4.5.7.1 Costos de producción.**

Los Costos de Producción, son el gasto o desembolso de dinero que hace en la adquisición de los insumos, para producir bienes o servicios. Sin embargo el término

costo es más amplio, ya que significa el valor de todos los recursos que participan en el proceso productivo de un bien en cantidades y en un periodo de tiempo determinado (Perrin, 1979)

#### **3.4.5.7.2 Costos variables.**

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

#### **3.4.5.7.3 Costos fijos.**

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

#### **3.4.5.7.4 Costos totales.**

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

#### **3.4.5.7.5 Ingreso neto.**

El ingreso neto o también de nominado beneficio neto, se determinó restando a los ingresos brutos el total de los costos de producción del ingreso bruto.

$$IN = IB - CP \text{ ( Ecu. 2)}$$

$$IN = IngresoNeto(Bs)$$

$$IB = IngresoBruto(Bs)$$

$$CP = CostosdeProduccion(Bs)$$

### **3.4.5.7.6 Relación beneficio- costo.**

La relación de beneficio/costo, es la comparación sistemática entre el beneficio o resultado de una actividad y el costo de realizar esa actividad.

Se calculó con la relación entre los ingresos brutos percibidos con los costos de producción, para una evaluación económica final.

$$B/C = IB/CTP \text{ ( Ecu. 3)}$$

$$\frac{B}{C} = \text{relacionbeneficiocosto}$$

$$IB = \text{IngresoBruto(Bs)}$$

$$CTP = \text{CostosTotalesdeProduccion (Bs)}$$



## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados derivados del presente trabajo de investigación, expresan los efectos de los factores en estudio, los cuales son descritos a continuación:

### 4.1 Número de hojas por planta (Hojas/planta)

En relación a la variable número de hojas del cultivo de lechuga bajo el efecto de dos factores; Técnica de Producción (Factor "A" Parcela Mayor) en interacción con Dos Distancias Producción (Factor "B" Parcela Menor).

**Cuadro 8** Análisis de varianza para la variable número de hojas por planta

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
PRBloque	2	0,07516	0,0480 *
Factor "A" (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	0,02193	0,1884 NS
Factor "B" (Distancia de producción) Parcela Menor	1	0,04625	0,0906 NS
Interacción de los dos factores "A"x"B"	1	0,000007	0,9781 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	0,02272	
Error del Factor B Parcela Menor	3	0,007	
Total	11	-	
Coeficiente de variabilidad (CV)		11,62%	-

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

Del cuadro N° 8, ANVA para la variable mencionada, el coeficiente de variabilidad alcanzo un valor de 11.62 %.

Con el fin de evaluar de manera precisa la variable número de hojas por planta se realizó el respectivo análisis de varianza, previo al análisis de varianza se realizó transformación de los datos, ya que esta variable presenta datos discontinuos o discretos, siguiendo la metodología planteada anteriormente se presenta a

continuación en el cuadro N° 8 el respectivo análisis de varianza (ANVA), para la variable número de hojas por planta.

Cadena (2014), menciona del coeficiente de variabilidad, es confiable si es menor o igual 15% para actividades agropecuarias.

Se deduce del cuadro anterior para la fuente de variabilidad bloques, existe diferencias significativas lo cual nos indica que hubo variación estadística entre bloques causada por la gradiente de luz, ocasionado por la distribución de tratamientos, es decir se señala que cada bloque es diferente debido a la influencia mencionada.

Murillo (2010), obtuvo plantas de lechuga de diferente peso debido a la altura de los diferentes canales de cultivo distribuidos en la pirámide de producción de la técnica NFT (Nutrient Film Technique) donde las plantas más cercanas al techo del invernadero mostraron ser de tamaño y peso menor en relación a las demás plantas incluyendo a las evaluadas de producción en tierra; mientras que las plantas ubicadas en los canales del medio de la pirámide de producción fueron de tamaño normal y peso normal en comparación a plantas producidas en tierra de la misma edad.

Para el mismo autor las plantas producidas en los canales de cultivo ubicados en la parte baja de la pirámide de producción (2 inferiores), mostraron tener poca cantidad de hojas y estaban muy elongadas, debido a la poca interceptación de luz.

## 4.2 Área foliar (cm<sup>2</sup>).

La variable área foliar fue determinado tonado muestra de diferentes plantas en diferentes canales de cultivo para que las muestras sean confiables.

**Cuadro 9** Análisis de varianza para la variable área foliar

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
Bloque	2	173.799325	0,0060 **
Factor "A" (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	33.936033	0,0074**
Factor "B" (Distancia de producción) Parcela Menor	1	24.538800	0,0117*
Interacción de los dos factores "A"x"B"	1	66.2700	0,2808 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	74.63603	
Error del Factor B Parcela Menor	3	41.581611	
Total	11	-	
Coeficiente de variabilidad (CV)		11,75%	-

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el Análisis de Varianza (ANVA) presentado en el anterior cuadro N°10, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de 11.75 %.

En el análisis del área foliar, en cuanto a la fuente de variabilidad bloques, se presentó altamente significativo, mostrando variación estadística entre los tres bloques producidos por la gradiente de luz, ocasionado por la distribución de tratamientos.

En cuanto a la fuente de variación, factor "A" (parcela Mayor) técnicas de producción, se muestra altamente significativo para la variable área foliar, también atribuido a la gradiente de luz en los tratamientos.

También de acuerdo al ANVA presentado en el cuadro anterior de la fuente de variación la parcela menor (distancia de producción), es altamente significativo.

La densidad o distancia de trasplante de una planta implica la intervención, principal de la luz, la adecuada cantidad absorbida de luz determina que una planta tenga un desarrollo normal en cuanto a tamaño y cantidad de hojas, este proceso fisiológico incide directamente en el rendimiento.

Según Barrera (2004), en la producción comercial de plantas de lechuga cuando todas las condiciones de fertilidad en el sustrato están presentes óptimamente, debido a que la sustancia responsable de la elongación y división celular la Auxina, fitohormona que se forma con la intervención de la luz en las células de las puntas de las hojas y se distribuye de una célula a otra, promoviendo el crecimiento, diferentes espectros de luz promueven o inhiben el crecimiento de las plantas de lechuga, de acuerdo a la radiación a la que se exponen.

Para el mismo autor Barrera (2004), cuando hay menor luz que la requerida por la planta las células se elongan doblándose hacia el rayo lumínico y cuando la luz es muy intensa especialmente con una radiación muy fuerte por el sol, las células se vuelven compactas y oscurece el color de la planta.

El canal de cultivo más próximo al techo de la pirámide de producción, mostro un crecimiento irregular con hojas muy compactas y pequeñas de color muy oscuro, mientras que las plantas de los canales inferiores se mostraron elongados y de color claro; mientras que en la piscina de de la técnica de raíz flotante las hojas se mostraron de tamaño y color uniforme para cada densidad respectivamente.

**Cuadro 10** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “A” técnicas de producción para la variable área foliar

Factores de Variación “A” (Parcela Mayor)	Área foliar cm <sup>2</sup>	Agrupamiento Duncan
T 2	78,0967	A
T 1	74,7333	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el cuadro N°10, prueba de rangos múltiples Duncan con respecto a la variable área foliar, la técnica 2, es decir la TR (técnica de raíz flotante) muestra que esta técnica logra mayor rendimiento en comparación a la técnica NFT, es decir que la técnica influye en gran medida en el área foliar de la lechuga producida hidropónicamente.

**Cuadro 11** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “B” densidades de trasplante, para la variable área foliar

Factores de variación “B” (Parcela menor)	Área foliar cm <sup>2</sup>	Agrupamiento Duncan
D2	77,8530	A
D1	74,9845	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el cuadro anterior de la prueba de Duncan se determina que la distancia de siembra del T4 (técnica raíz flotante; densidad 20 cm) tiene mayor ganancia en área foliar con respecto a los demás tratamientos durante el tiempo del experimento; es decir que la técnica de raíz flotante (RF) con una distribución horizontal y una distancia de 20 cm entre planta permitieron mayor interceptación de luz con respecto a las demás traduciéndose en mayor incremento del área foliar.

### 4.3 Peso de materia fresca (gr).

Para la variable peso de materia fresca se llevo a pesar todas las muestras de hojas rápidamente para evitar pérdidas de humedad, usando contenedores de plástico herméticamente cerrados.

**Cuadro 12** Análisis de varianza para la variable peso de materia fresca

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
Bloque	2	624.99	0,0345*
Factor "A" (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	771.04	0,0289*
Factor "B" (Distancia de producción) Parcela Menor	1	393.42	0,0465*
Interacción de los dos factores "A"x"B"	1	249.249	0,1102 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	2519.93683	
Error del Factor B Parcela Menor	3	90.48260	
Total	11	-	-
Coeficiente de variabilidad (CV)		13,58%	

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el Análisis de 0 de plantación o de la densidad de siembra será fundamental para obtener una acertada producción por unidad de superficie.

**Cuadro 13** Prueba de rangos múltiples Duncan para la variable materia fresca factor “A”

Factores de Variación “A” (Parcela Mayor)	Promedio g	Agrupamiento Duncan
T 2	230,41	A
T 1	214,38	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

De acuerdo a la prueba de Duncan, para el factor “A” técnicas de producción, se muestra que la técnica de raíz flotante (RF) muestra mayor ganancia o rendimiento de materia fresca, en comparación a la técnica de NFT.

**Cuadro 14** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “B”

Factores de variación “B” (Parcela menor)	Promedio g	Agrupamiento Duncan
D2	224.29	A
D1	216.71	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

De acuerdo a la prueba de Duncan, para el factor “B” densidad de producción, se muestra que la técnica de raíz flotante (RF) con la (D2) densidad de 20 cm muestra mayor ganancia o rendimiento de materia fresca, en comparación a la técnica de NFT (Nutrient Film technique), demostrando que la densidad influye de manera significativa en la ganancia de peso de una planta.

#### 4.4 Peso de materia seca (gr)

En relación a la variable peso de materia seca de lechuga, bajo el efecto de dos factores; Técnica de Producción (Factor “A” Parcela Mayor) en interacción con Dos Distancias Producción (Factor “B” Parcela Menor).

La materia seca de las plantas de lechuga están muy relacionadas a la cantidad de radiación recibida en todo su ciclo, especialmente en su etapa vegetativa donde la fotosíntesis juega un rol muy importante en el crecimiento de las células de la planta.

Siguiendo la metodología planteada, se presenta a continuación el ANVA de la variable peso de materia seca en el cuadro N° 15.

**Cuadro 15** Análisis de varianza para la variable peso de materia seca.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
Bloque	2	19,0310	0.0728 NS
Factor “A” (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	132,069	0.0146 **
Factor “B” (Distancia de producción) Parcela Menor	1	42,0750	0.0990 NS
Interacción de los dos factores “A”x”B”	1	29,4846	0.0693 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	6.605530	
Error del Factor B Parcela Menor	3	86.347097	
Total	11	-	-
Coeficiente de variabilidad (CV)		12,535%	

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

Del cuadro N°15, ANVA para la variable mencionada, el coeficiente de variabilidad alcanzo un valor de 12,53 %.



El coeficiente de variabilidad es menor a 15 % rango mencionado por Cadena (2014), entonces los datos obtenidos son considerados confiables.

Se deduce del cuadro anterior para la fuente de variabilidad bloques, no existe diferencias significativas lo cual nos indica que no hubo variación estadística entre bloques causada por el gradiente de variabilidad de luz.

En cuanto a la fuente de variación Factor "A" (parcela Mayor) técnica de producción, se presentó significancia entre ambas técnicas,

Resh (1987), menciona que la ganancia de peso seco de las hojas, especialmente en cultivos donde la parte de las hojas es la parte comercial o aprovechable de dicho cultivo, debido esencialmente a la fijación del rayo lumínico en las hojas. Mientras más expuesta estén las hojas a la radiación solar directa mayor ganancia de peso seco tendrá.

Según Ramos (2010), en la evaluación de la ganancia de peso de las tres variedades de lechuga efectuada en sistema hidropónico NFT, se obtuvo pesos muy relacionados a la altura del canal de cultivo, y la estación de producción de las plantas de lechugas, el equilibrio de luz y temperatura en el invernadero mostro afectar el crecimiento, si hay poca iluminación en época de lluvia no hubo buena ganancia de peso; la altura de ubicación los canales también influyo en el peso, las plantas de los canales inferiores pesaron casi 100 gr menos en relación a los demás.

Para el mismo autor Ramos (2010), las plantas expuestas a una intensidad lumínica intermedia y fotoperiodo largo de más o menos 9 horas o más mostraron un peso igual en comparación a las plantas de la misma edad, producidas en tierra.

Continuando con el análisis, al mostrar diferencias significativas entre técnicas de producción, se procedió a realizar la prueba de rangos múltiples Duncan para la variable peso de materia seca. El cual se indica en el siguiente cuadro N°16.

**Cuadro 16** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “A” técnicas de producción.

Factores de Variación “A” (Parcela Mayor)	Promedio g	Agrupamiento Duncan
T 2	14,687	A
T 1	7,132	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En relación al cuadro N° 16, en el cual la prueba Duncan del factor “A” técnicas de producción, se puede apreciar que se agrupan y/o discriminan las medias del factor en dos indicando que si existen diferencias estadísticas entre los promedios de ambas técnicas, siendo que los promedios de peso son mayores en la técnica de producción de raíz flotante (RF) en comparación a la técnica NFT (Nutrient Film Technique), es decir que a técnica de acuerdo a la distribución de tratamientos influye de gran manera en la ganancia de peso.

#### **4.5 Diámetro de Cuello (mm/planta)**

En la variable diámetro de cuello se muestra un incremento de acuerdo relacionado al incremento de las hojas.

En relación a la variable diámetro de cuello, bajo el efecto de dos factores; Técnica de Producción (Factor “A” Parcela Mayor) en interacción con Dos Distancias Producción (Factor “B” Parcela Menor).

Siguiendo la metodología planteada, se presenta a continuación el ANVA de la variable diámetro de cuello en el cuadro N° 17.

**Cuadro 17** Análisis de varianza para la variable diámetro de cuello (mm/planta)

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
Bloque	2	0,853733	0,2303 NS
Factor "A" (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	18,9756750	0,0043**
Factor "B" (Distancia de producción) Parcela Menor	1	1,650208	0,1163 NS
Interacción de los dos factores "A"x"B"	1	4,826008	0,3160 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	8,483963	
Error del Factor B Parcela Menor	3	0,31228056	
Total	11	-	-
Coefficiente de variabilidad (CV)		8,97%	

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

De acuerdo al cuadro anterior en la fuente de variación bloques se muestra que no hay diferencias significativas entre bloques.

En la otra fuente de variación, técnicas de producción se muestra una diferencia altamente significativa entre las dos técnicas de producción hidropónica.

Rodriguez (2002), las plantas al completar un fotoperiodo normal, crecen vigorosamente aumentando en área foliar lo que permite que el diámetro de cuello engrose de acuerdo aumenta el área foliar o el número de hojas, manteniendo siempre adecuados las otras características tanto de fertilidad y humedad.

Ninancuro (2007), en la evaluación del diámetro de cuello efectuado en las variedades de lechuga señorita Valeria y Adriana, al medirlas se mostro que la variedad Valeria, tuvo mayor diámetro de cuello en promedio que la otra variedad teniendo una relación con el número de hojas a la cosecha de 42 hojas en promedio,

mientras que la variedad Adriana en promedio obtuvo 39 hojas a la cosecha teniendo también un diámetro menor.

Siguiendo con el análisis de la variable diámetro de cuello se hizo la prueba de rangos múltiples o de medias Duncan para el factor de variación técnicas de producción que mostro ser significativa.

**Cuadro 18** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “A” de la variable diámetro de cuello (mm/planta)

Factores de Variación “A” (Parcela Mayor)	Promedio mm	Agrupamiento Duncan
T 2	16.5017	A
T 1	13.9533	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

De acuerdo a la comparación de medias o rangos múltiples de Duncan para la variable diámetro de tallo, se muestra que la parcela mayor técnicas de producción, la técnica de producción de raíz flotante (RF) mostro un mayor promedio que la técnica de NFT (nutrient film technique), de acuerdo al análisis echo.

#### 4.6 Volumen Radicular (cc/planta)

En relación a la variable volumen radicular del cultivo de lechuga bajo el efecto de dos factores; Técnica de Producción (Factor “A” Parcela Mayor) en interacción con Dos Distancias Producción (Factor “B” Parcela Menor).

Con el fin de evaluar de manera precisa la variable volumen radicular por planta se realizó el respectivo análisis de varianza, se presenta a continuación en el cuadro N° 20 el respectivo análisis de varianza para la variable volumen radicular

**Cuadro 19** El respectivo análisis de varianza para la variable volumen radicular

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadro medio	Pr > F
Bloque	2	0,81	0,6773 NS
Factor “A” (Técnica de producción) Parcela Mayor	1	22,6875	0,0388 *
Factor “B” (Distancia de producción) Parcela Menor	1	17,5208	0,0534 NS
Interacción de los dos factores “A”x”B”	1	13,5376	0,0843 NS
Error del Factor A Parcela Mayor	3	39,2454	
Error del Factor B Parcela Menor	3	29,6330	
Total	11	-	-
Coeficiente de variabilidad (CV)		7,79%	

(\*\*) = Altamente significativo, (\*) = Significativo, (NS) = No significativo

**Fuente:** elaboración propia (2017)

Del cuadro N° 19, ANVA para la variable mencionada, el coeficiente de variabilidad alcanzo un valor de 7.79 %.

Se deduce del cuadro anterior para la fuente de variabilidad bloques, no existe diferencias significativas.

En cuanto a la fuente de variación Factor "A" (parcela Mayor) técnicas de producción, se presentó significancia entre ambas, lo cual nos indica que existieron diferencias estadísticas en la variable volumen radicular por planta debido a la técnica de producción.

De acuerdo al cuadro de análisis, que muestra que hubo una diferencia significativa en el volumen radicular dentro las técnicas nutrient film technique (NFT) y raíz flotante (RF).

En los resultados presentados por Barrios (2004), en su estudio del cultivo de lechuga donde en su evaluación mostro, que el volumen radicular en las diferentes técnicas usadas como NFT y raíz flotantes o balsa flotante depende en gran medida de la relación exacta de nutrientes en la solución, obteniéndose mayor volumen en plantas producidas con un 5 % más de calcio, teniendo volúmenes de hasta un 20 % más. En otra comparación con soluciones de contenidos bajos de sales cercanos a una conductividad eléctrica de 1000 dscm, por unos 10 días también obtuvieron raíces de mayor volumen a causa de la deficiencia nutricional.

De acuerdo a Resh (1987), que indica que cuando hay un buen suministro de nutrientes las raíces tienden a ser cortas o están en relación con el área foliar, aunque también una fuerte radiación también provoca una disminución del tamaño de raíces, lo que se puede evidenciar en la técnica NFT en zonas de fuerte radiación y ambiente seco, donde se puede evidenciar hasta un decremento de un 30 % del volumen radicular.

Para el mismo autor Resh (1987), cuando la solución está muy diluida en nutrientes las raíces tienden a crecer en busca de ellos, también la temperatura de la solución nutritiva que tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta: es decir que cuando la temperatura es menor de 22°C el oxígeno disuelto es suficiente para abastecer la demanda. En cambio a temperaturas mayores de 22°C, la cantidad de oxígeno disuelta en la solución nutritiva comienza a disminuir y en

casos muy obvios, es necesaria la utilización de bombas de aire para compensar esta pérdida, lo que también incidirá en un incremento o decremento de las raíces.

**Cuadro 20** Prueba de rangos múltiples Duncan para el factor “A” técnicas de producción, para la variable volumen radicular por planta

Factores de Variación “A” (Parcela Mayor)	Promedio cc	Agrupamiento Duncan
T 2	18,75	A
T 1	18,05	B

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En relación al cuadro N<sup>o</sup> 20, en el cual la prueba Duncan del factor “A”, indica que si existen diferencias estadísticas entre las dos técnicas de producción, los promedios más diferenciados fueron alcanzados por la técnica de producción de RF (raíz flotante) siendo que los promedios son significativamente superiores con respecto a la técnica NFT (Nutrient film technique), donde los promedios se mostraron diferenciados entre las dos técnicas.

## 4.7 Variables económicas.

### 4.7.1 Beneficio bruto (Anexo cuadro 11)

$$T1 \text{ Beneficio Bruto}(BB) = 81,90 \text{ Bs}$$

$$T2 \text{ Beneficio Bruto}(BB) = 75,60 \text{ Bs}$$

$$T3 \text{ Beneficio Bruto}(BB) = 55,89 \text{ Bs}$$

$$T4 \text{ Beneficio Bruto}(BB) = 46,12 \text{ Bs}$$

De acuerdo a lo mostrado se muestra que el mayor beneficio bruto lo obtuvo el T1 con 81,90 Bs. En relación a los demás tratamientos.

$$\text{Rendimiento (R) } T1 = 9,10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Rendimiento (R) } T2 = 8,40 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Rendimiento (R) } T3 = 6,21 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Rendimiento (R) } T4 = 5,12 \text{ kg/m}^2$$

De acuerdo al cuadro anterior, el rendimiento del T1 de 9,10 kg/m<sup>2</sup> resulto ser mayor a los demás tratamientos, no se noto en gran medida la influencia de la condición que es la incidencia lumínica y si en gran medida la densidad con mayor número de plantas por tratamiento

### 4.7.2 Precio.

$$\text{Precio (P)} = 10 \text{ Bs/kg}$$



### 4.7.3 Costos variables.

**Cuadro 21** Costos variables.

COSTOS VARIABLES	CANTIDAD	Bs.
<b>Módulo de germinación</b>	10 m <sup>2</sup>	132
	m <sup>2</sup>	13,2
<b>Insumos</b>	10 m <sup>2</sup>	263
	m <sup>2</sup>	26,3
<b>Mano de obra</b>	10 m <sup>2</sup>	345
	m <sup>2</sup>	34,5

**Fuente:** elaboración propia (2017)

El peso y precio de referencia se obtuvo de la venta del producto en el mercado de abasto de la zona de Achumani ubicado en la zona sur de la ciudad de La Paz, en este mercado se vendió todo el producto cosechado con el precio de 10 Bs/kg.

En los costos variables fueron tomados en cuenta aquellos costos dependientes del inicio de la producción, mano de obra, insumos y modulo de germinación; en el cuadro anterior se muestra el costo variable total del experimento y por m<sup>2</sup> para un ciclo de 49 días de producción tiempo que duro el experimento.

#### 4.7.4 Costos fijos.

**Cuadro 22** Costos fijos.

COSTOS FIJOS	CANTIDAD	Bs
Inversión inicial (Modulo sistema re circulante NFT)	18 m <sup>2</sup>	3285.5
	m <sup>2</sup>	304.21
Inversión inicial (Modulo de piscina contenedor)	5 m <sup>2</sup>	565,5
	m <sup>2</sup>	113.1
Alquiler (Carpa solar)	200 m <sup>2</sup>	250
	m <sup>2</sup>	2.5

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el cuadro anterior se muestran los costos fijos del experimento, que incluye la inversión inicial de ambos módulos NFT y RF y alquiler de la carpa solar, costo total del área del experimento y por m<sup>2</sup>; también para un ciclo de producción de 49 días.

#### 4.7.5 Costos totales.

**Cuadro 23** Costos totales.

TRATAMIENTOS	T1=NFT 17	T2=NFT 20	T3=RF 17	T4=RF 20
TOTAL COSTOS	493,67	493,67	493,67	493,67

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el cuadro anterior se muestra los costos totales iguales para cada tratamiento, porque la inversión fue en general para todo el experimento.

#### 4.7.6 Ingreso neto.

$$T1(IN) = -411,77$$

$$T2(IN) = -418,07$$

$$T3(IN) = -437,78$$

$$T4(IN) = -447,55$$

En el experimento, el ingreso neto o también denominado beneficio neto se muestra que cada tratamiento es negativo, es decir que en cada tratamiento no se obtienen ganancias, debido a que la inversión inicial y los demás costos son altos en un primer ciclo de 49 días de producción.

#### 4.7.7 Relación beneficio- costo.

Se calculó con la relación entre los ingresos brutos percibidos con los costos de producción, para una evaluación económica final.

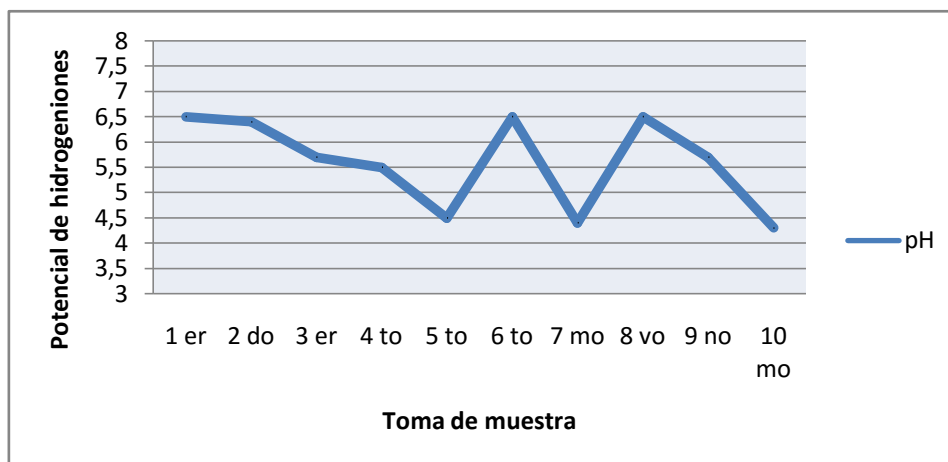
**Cuadro 24** Relación beneficio costo.

TRATAMIENTOS	T1=NFT 17	T2=NFT 20	T3=RF 17	T4=RF 20
BENEFICIO/COSTO	0,16	0,15	0,11	0,09
PERDIDAS	0,84	0,85	0,89	0,91

**Fuente:** elaboración propia (2017)

En el cuadro anterior de la relación Beneficio/costo, se muestra un registro de pérdidas durante el primer ciclo de 49 días de producción, es decir que en el tratamiento 1 (T1=NFT 17) se tiene una pérdida de 0,84 Bs; en el tratamiento 2 (T2=NFT 20), se tiene una pérdida de 0,85 Bs; en el tratamiento 3 (T3=RF 17), una pérdida de 0,89 Bs y tratamiento 4 (T4=RF 20), una pérdida de 0,91 Bs por boliviano invertido, esto se debe a que la inversión inicial es muy alta, no recuperable en un solo ciclo de producción.

#### 4.7.8 Comportamiento del pH



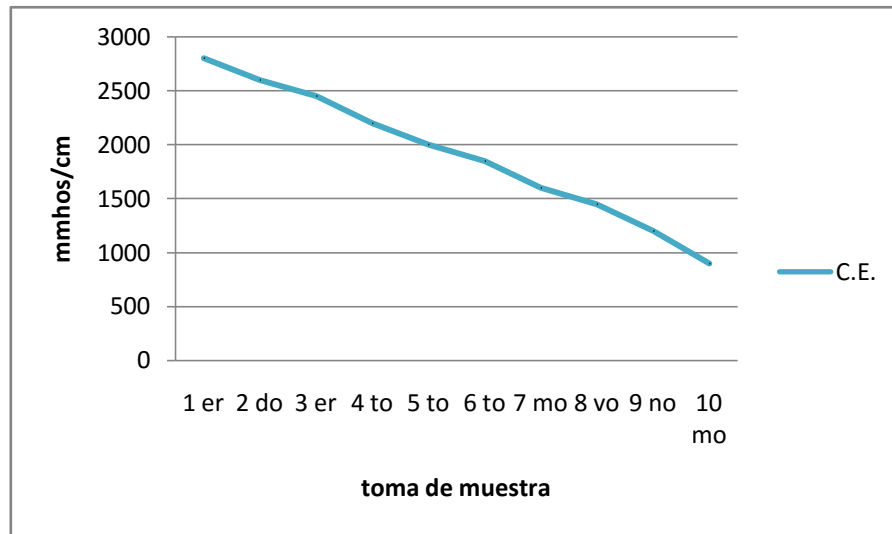
**Figura N° 4.** Comportamiento del pH.

En la figura anterior se muestra el comportamiento del pH a partir del tercer cambio es decir a los 30 días de producción en lugar definitivo, esta tendencia se manifestó por las altas temperaturas (ver cuadro N°12) que se registraron dentro el invernadero; al momento del cambio de solución el pH inicial era de 6.5 y bajaba paulatinamente hasta llegar a un pH de 4.3 en el 5to día de circulación de esa solución, ese nivel de pH es letal para las plantas.

Cuando el pH tiende a bajar hasta un límite de 5.2 se adicionó soda cáustica (KOH), que tiene un pH básico, para corregir la solución y evitar quemaduras en la raíz a causa del pH ácido de la solución, las veces que fuera necesario usando 40 gr de soda cáustica por mil litros de solución.

Resh (1989), menciona que temperaturas altas y muy bajas dentro el ambiente de producción o invernadero, pueden producir cambios de pH en la solución, estos cambios ocurren por la absorción brusca y excesiva de agua por las plantas o la concentración de algunas sales que influyen en el pH.

#### 4.7.9 Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E.).



**Figura N° 5** Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E.)

En la figura N°5 se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica, puesto que la conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de sales, se nota claramente que la conductividad desciende cada día por el consumo de las plantas, manteniendo y aumentando agua al mismo volumen inicial.

Resh (1989), al incrementarse el nivel de sales totales se incrementara también rápidamente la conductividad eléctrica, el volumen de la solución deberá conservarse relativamente constante para de esta forma poder asegurar un adecuado crecimiento de las plantas; las plantas toman mucha más agua y a mucha más velocidad que elementos minerales, conforme se efectúa esta toma de agua de la solución de nutrientes, disminuye dicho volumen como es natural, esto da lugar a un incremento de la concentración total de la solución, a si como la concentración de diversos iones y al aumentar agua al volumen inicial se diluye la solución bajando la conductividad eléctrica.

## 5 CONCLUSIONES.

- En la variable de respuesta número de hojas por planta, no se obtuvo ninguna significancia en el análisis de varianza (ANVA), por lo cual se concluye que la densidad y la técnica de producción no influyeron significativamente en la ganancia de número de hojas de la variedad Whithe Boston, el número de hojas promedio fue, casi igual para cada tratamiento.
- Es decir la ganancia de hojas en este estudio se atribuye o está muy relacionada con la nutrición y la las características heredadas del cultivo, donde no influyen tanto la técnica y la distancia.
- En la variable área foliar, se muestra altamente significativo en el análisis de varianza ANVA para el factor "A" técnica de producción, lo cual indica que el área foliar está muy influenciado por la técnica de producción donde según el análisis Duncan la técnica de raíz flotante (RF) presenta mayor ganancia en área promedio por hoja con  $78.1 \text{ cm}^2$ , en relación a la técnica NFT (nutrient film technique) que en promedio tiene  $74.73 \text{ cm}^2$ .
- También para el factor "B" densidades de transplante, se mostro significativo, lo cual indica que el área foliar también está muy influenciado por la distancia entre plantas que permite una mayor recepción de la luz.
- Esto porque la luz en las diferentes etapas de crecimiento de una planta juega un rol importante, Las plantas aumentan de tamaño y peso al tener todas las condiciones para su crecimiento, según aumenta el índice de área foliar, aumenta la eficiencia de la interceptación de la radiación hasta llegar a un valor máximo.
- Para la variable peso de materia fresca, se nota claramente la influencia de la técnica de producción factor "A" del estudio y la densidad de transplante factor "B", donde la técnica RF (raíz flotante) tiene mejor promedio  $230.41 \text{ g}$  en comparación a NFT (nutrient film technique) con  $214.38 \text{ g}$ , esto porque para un desarrollo óptimo de la planta donde todos los requerimientos nutricionales están adecuadamente proporcionados, la formación de materia verde, debido a una

buena absorción de luz por la adecuada distancia entre plantas es fundamental en la producción.

- Para el proceso de formación de materia verde por la fotosíntesis, la energía lumínica se transforma en energía química.
- En la variable peso de materia seca, solo hubo influencia por la técnica de producción donde la técnica de raíz flotante (RF) mostro mayor peso de materia seca por planta con 14.69 g en relación al NFT (nutrient film technique) con 7.32 g a una menor densidad con distancia, es decir la densidad de 20 cm presento mayor ganancia de peso.
- Esto porque la producción expresado como materia seca total y considerando que no hay ningún otro factor limitante, será función de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada.
- En el diámetro de cuello, se muestra que influyo notoriamente la técnica de producción factor "A", con la técnica de raíz flotante (RF) que muestra a plantas con mayor diámetro en el cuello de 16.5 mm, en relación a NFT (nutrient film technique) con 13.95 mm esto se debe debido a una mayor ganancia de peso y área foliar lograda, a través de una mayor recepción de luz por la distribución horizontal de la técnica en comparación con la técnica NFT con una distribución en pirámide.
- En la variable volumen radicular, se muestra en la técnica de producción factor "A", que la técnica (RF) raíz flotante tubo mayor volumen con 18.75 cc en comparación a la técnica NFT que presento 18.05 cc, esto porque la técnica RF que tiene una distribución más horizontal de las plantas presento mas volumen en sus raíces, el incremento radicular está directamente relacionado al crecimiento foliar de una planta, aunque el incremento radicular de las plantas está estrechamente relacionado al crecimiento en altura del área foliar, también influye la composición adecuada de nutrientes en la solución, aunque en fuertes deficiencias la raíz incrementa de tamaño para buscar nutrientes que le permitan seguir con su ciclo de vida.

- En las variables económicas, se obtuvo una relación beneficio/costo menor a 1 en todos los tratamientos, lo cual indica que el experimento no fue rentable en el tiempo de evaluación, desde el punto de vista económico.
- Esto se debe a que la inversión inicial es alta, por los equipos y material necesario para el experimento, los insumos especialmente sales todavía no están al alcance de las personas, lo que hace que sus costos sean todavía altos.



## 6 RECOMENDACIONES.

De acuerdo a la experiencia lograda en el presente trabajo se dan las siguientes recomendaciones, para mejorar la producción con las dos técnicas hidropónicas:

- Es recomendable tener en cuenta que a mayor densidad las plantas crecen un tanto elongadas y delgadas, se deberá pensar en una densidad adecuada que tome en cuenta todas las condiciones técnicas de producción y también que tome en cuenta al mercado de venta.
- Es necesario realizar pruebas de sembrando, colocando la semilla directamente en esponja agrícola, porque es más porosa y libre de contaminación y de fácil manipulación, y se degrada con más facilidad.
- Se debe realizar ensayos para poder realizar un segundo hasta tercer trasplante en canales de cultivo tratando de mantener las plantas juntas el mayor tiempo posible para ganar espacio e incrementar el número de plantas por m<sup>2</sup>, por lo cual se debe efectuar pruebas en varios ciclos de producción para tener mayor rendimiento y producción constante.
- Para producciones netamente comerciales es indispensable contar con personal técnico capacitado, porque siempre se presentan dificultades propias de la producción, como cambios bruscos de pH, cambios elevados en la gradiente de temperatura, etc.
- También se debe contar siempre con los instrumento adecuados y necesario de medida de pH, para evitar pérdidas por quemaduras de raíz, también contar con un conductímetro para efectuar los cambios oportunos de solución nutritiva.
- Si se utiliza la producción con pirámides de la técnica NFT se recomienda ubicar el modulo adecuadamente, generalmente el largo de la pirámide de este a oeste para tener la mayor cantidad horas luz posible para las planta.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ G. J., 1999. Hidroponía. Alta Vista. Disponible en Alvarezg@hotmail.com

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

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

BARROS P., 1999. Hidroponía. Alta Vista. Disponible en Barros@hotmail.com.

CADENA, M., 2014. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de humus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L), bajo ambiente protegido. Tesis de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. p. 24-27;45-48.

CALZADA, J., 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Milagros S.A. Lima, Perú. p.645.

CANAZA E, S/N. Hidroponía. Alta Vista. Disponible en canaza@hotmail.com.

CARRASCO, G. S/N; Izquierdo, J., 1996. Manuel Técnico. La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: Sistema hidropónico re circulante. La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT). Talca. pp.62.

CHILON, C. E. 1997. Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Ediciones CIDAT. Primera reimpression. La Paz – Bolivia. 26 – 73 pp. CHILON, E. 1997. Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. Ediciones CIDAC La Paz- Bolivia. pp.170 -185.

CYMMYT ,1998. Un manual metodológico de evaluación económica, Mexica D.F. p 79.

USDA, 2008. Departamento de Agricultura de Estados Unidos..Hidrohortalizas. Consultado 17 de Enero del 2014. Disponible en: <http://www.hidrohortalizas.com.ar>

DEBLIN, J., 1989. Micro huertas, fuentes de nutrición y recursos económicos. Evaluación final del proyecto “Micro huertas Populares” de Asociación CUNA. La Paz, Bolivia. (Diapositivas). 49 día positivas, son.+ 1 Flash Memory de 4G.(30minutos), color.

FOSSATI, C., 1986. Como practicar el hidrocultivo. Editorial Edaf. Madrid - España. pp. 27 - 37, 98, 99.

FUNDACIÓN EROSKI. 1999. Guía de Hortalizas y verduras. (En línea), Consultado 6 de feb 2013. Disponible en: <http://www.consumer.es>

GALLARDO G., 1996. Producción de forraje hidropónico en tres soluciones nutritivas en dos concentraciones. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andres La Paz – Bolivia. pp. 25-70.

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

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

Guía del huerto hidropónico, S/N. Cultivo de Lechuga. Manual de Producción de plantas Hortícolas. pp.23.

HARTMANN G. W., 1990 .Fertilización para rendimientos Máximos. Editorial Continental, S. A. México pp. 50-52, 247.

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

IGM, Instituto Geográfico Militar. 1997. Cartas geográficas de la ciudad de La Paz. La Paz - Bolivia.

INIA, (Instituto Nacional de Investigación Agraria). 2000. Guía del huerto hidropónico. Primera edición. Lima Perú. pp. 106.

IZQUIERDO J., 1993. Manual técnico de la huerta hidropónica popular. Oficina regional de producción vegetal FAO. Curso audiovisual. Perú.

KURZMAN A., 1993. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra: pp. 229.

LCA, (Laboratorio de Calidad Ambiental). 2015. Instituto de Ecología. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. UMSA.

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

MALLAR, A., 1978. La lechuga. Editorial Albatro. Buenos Aires Argentina. pp. 55.

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

MENDEZ J., 1993. Evaluación del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema NFT (Técnica de la Película de Nutriente) bajo invernadero.

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

NINANCURO, E., 2007 producción hidropónica de lechuga (*Lactucasativa*L.) en sistema re circulante. Atlántica de Costa Rica. Universidad EARTH. pp. 39.

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

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

PERRIN R., 1979. Anderson, J., 1988 .Formulación de Recomendaciones a Partir de Datos Agronómicos. Publicado por CIMMYT. Programa de Economía. México. pp. 92.

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

RESH, H., 1987. Cultivos Hidropónicos, Nuevas Técnicas de Producción. Barcelona, España: Mundi– Prensa. pp. 509.

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

SÁNCHEZ C., 2004. Cultivo y Comercialización de Hortalizas. Guayaquil, Ecuador: Centenario. pp.134.

SARAVIA J. 2000. Guía del huerto hidropónico. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Editorial INIA Lima – Perú. pp. 65, 66.

SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. 2006. Boletín

URIVE, G., 2007. Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactucasativa*L.), en el sistema hidropónico recirculante “NFT”. Universidad Mayor de San Simón, Facultad Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Dr. Martin Cardenas”. Cochabamba, Bolivia: pp. 75

# ANEXO

## CUADROS DEL ANEXO

**Cuadro 1.** Composición química del fertilizante Plan t – Prod.

Componente	Porcentaje de pureza
<b>Nitrógeno total (H)</b>	<b>15%</b>
<b>Ácido fosfórico asimilable ( P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	<b>15%</b>
<b>Potásico soluble (K<sub>2</sub>O).</b>	<b>30%</b>
<b>Boro (B)</b>	<b>0.02%</b>
<b>Cobre quelatado (CU)</b>	<b>0.05%</b>
<b>Hierro quelatado (FE)</b>	<b>0.10%</b>
<b>Manganeso quelatado (Mn)</b>	<b>0.05%</b>
<b>Molibdeno (Real)(Mn)</b>	<b>0.0005%</b>
<b>Zinc quelatado (Zn)</b>	<b>0.05%</b>
<b>EDTA (Tetra Acetato de Etileno) agente quelatante</b>	<b>el 1% del agente</b>

**Fuente:** Resh (1989)

**Cuadro 2.** Requerimiento nutricional de la lechuga en ppm o mg/l.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
<b>200</b>	<b>50</b>	<b>210</b>	<b>200</b>	<b>50</b>	<b>113</b>	<b>5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.05</b>

**Cuadro 3.** Presupuesto del sistema hidropónico recirculante "NFT" (Costo fijo)

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(Bs)	TOTAL (Bs)
Madera para los triángulos.	Pie <sup>2</sup>	39	7	273
Madera para la sujeción de la pirámide.	Pie <sup>2</sup>	4	7	28
Tubos de canal de cultivo de 3" de diámetro	Piezas	7	54	378
Tubos de desagüe de 2" de diámetro	Piezas	2	70	140
Tapas de tubos de 3" de diámetro.	Piezas	6	45	270
Politubo de ½ " de diámetro.	Metros	12	3.5	42
Codos de 2" de diámetro.	Piezas	5	4	20
Reductor de 1" a ½" de diámetro.	Piezas	1	3.5	3,5
Codos de 1" de diámetro.	Piezas	4	6	24
Cruz de 1" de diámetro.	Piezas	1	9	9
Llaves con unión universal de 1" de diámetro	Piezas	2	50	100
Tapón hembra de ½" de diámetro.	Piezas	2	2.5	5
Micro tubo de 6 mm de diámetro.	Metros	10	2.5	25
Cinta aislante.	Piezas	1	5	5
Cinta teflón de ¼.	Piezas	8	3.5	28
Acoples de micro tubo.	Piezas	6	2.5	15
Pegamento PVC.	Piezas	1	35	35
Tanque de agua de 350 litros.	Pieza	1	250	250
Remaches de 3.5 mm.	Piezas	120	0.25	30
Tubo de electricidad de 1" de diámetro	Metros	4	4	16
Bomba de agua de 0.5 HP de potencia	Pieza	1	800	800
Chupador de 1" de diámetro.	Pieza	1	45	45
Clavos de 2".	Kilos	2	12	24
Tornillos de 1".	Kilo	1	12	12
Sujetadores de metal.	Piezas	24	4	96
Pintura látex.	Litros	1	12	12
Trabajador.	Jornal	3	100	300
Temporizador de 24 tiempos.	Pieza	1	180	180
Interruptor.	Pieza	1	70	70
Cable número 14.	Metros	10	5	50
TOTAL PARA 18 m <sup>2</sup>				3285.5
TOTAL m <sup>2</sup>				304.21



**Cuadro 4.** Presupuesto para la piscina contenedor (Área de crecimiento inicial).  
(Costo fijo)

Descripción	Unidad	Cantid	Precio	TOTA
			Unitario	(Bs)
<b>Spiling (bandejas de germinación).</b>	Piezas	8	20	<b>160</b>
<b>Tubos PVC corriente de 2" pulgadas.</b>	Barra	1	70	<b>70</b>
<b>Clavos de ½ pulgada.</b>	Kilo	1	12	<b>12</b>
<b>Madera tableada de 1"x 0.15 x 1.5</b>	Piezas	12	4.5	<b>54</b>
<b>Agrofilm de 250 micras.</b>	Metros	4	45	<b>180</b>
<b>Manguera de goma.</b>	Metros	1	2.5	<b>2,5</b>
<b>Politubo de ½ pulgada.</b>	Metros	4	3.5	<b>14</b>
<b>Tapón hembra de ½" de diámetro.</b>	Pieza	1	3	<b>3</b>
<b>Trabajador.</b>	Jornal	2	35	<b>70</b>
TOTAL PARA 5 m <sup>2</sup>				<b>565,5</b>
TOTAL m <sup>2</sup>				<b>113.1</b>

**Cuadro 5.** Presupuesto para el módulo de germinación (almacigo de esponja corriente). (Costo variable)

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	TOTA
			Unitario	L (Bs)
<b>Estiletes.</b>	Piezas	2	3	<b>6</b>
<b>Espuma sintética.</b>	Hoja	0.5	70	<b>35</b>
<b>Plastoform de 2 cm.</b>	Hoja	8	6	<b>48</b>
<b>Vinagre.</b>	Litro	1	8	<b>8</b>
<b>Trabajador.</b>	Jornal	0.5	70	<b>35</b>
TOTAL PARA 10 m <sup>2</sup>				<b>132</b>
TOTAL m <sup>2</sup>				<b>13.2</b>

**Cuadro 6.** Cálculo por uso de la carpa. (Costos fijo)

Nombre de los Recursos	Ciclo de Producción (Bs)	Alquiler m <sup>2</sup> mes	Alquiler m <sup>2</sup> 49 días
<b>Invernadero Alquiler</b>	<b>1</b>	<b>1,5 Bs/m<sup>2</sup></b>	<b>2,45 Bs/m<sup>2</sup></b>

**Cuadro 7.** Análisis económico para un ciclo (1 campaña de 49 días)

TRATAMIENTOS	TRATAMIENTOS			
	1	2	3	4
<b>Rendimiento promedio (kg/m)</b>	9,100	8,400	6,210	5,125
<b>Rendimiento ajustado (-10%)</b>	8,190	7,560	5,589	4,612

**Cuadro 8.** Beneficio Bruto (Bs/m<sup>2</sup>)

Tratamientos	T1=NFT 17	T2=NFT 20	T3=RF 17	T4=RF 20
<b>Rendimiento promedio (kg/m<sup>2</sup>)</b>	9,100	8,400	6,210	<b>5,125</b>
<b>Rendimiento ajustado (-10%)</b>	8,190	7,560	5,589	<b>4,612</b>
<b>Precio (Bs/kg)</b>	10	10	10	<b>10</b>
<b>BENEFICIO BRUTO (Bs/m<sup>2</sup>)</b>	<b>81,9</b>	<b>75,6</b>	<b>55,89</b>	<b>46,12</b>

**Cuadro 9.** Insumos (Costos Variables)

Insumos necesarios para los cuatro tratamientos		
<b>Semilla/planta</b>	Bs	<b>20</b>
<b>Nitrato de Calcio</b>	Bs	<b>40</b>
<b>Nitrato de Potasio</b>	Bs	<b>10</b>
<b>Nitrato de Amonio</b>	Bs	<b>20</b>
<b>Plant Prod Canada</b>	Bs	<b>140</b>
<b>Sulfato de Magnesio</b>	Bs	<b>20</b>
<b>Lorsban Plus</b>	Bs	<b>8</b>
<b>Taspa</b>	Bs	<b>5</b>
<b>SUB-TOTAL INSUMOS</b>		<b>263</b>
<b>TOTAL m<sup>2</sup></b>		<b>26,3</b>

**Cuadro 10.** Mano de Obra (Costos Variables)

Un ciclo de cosecha Bs.	
<b>Siembra</b>	<b>30</b>
<b>Cambio de solución</b>	<b>210</b>
<b>Transplante pirámide NFT</b>	<b>35</b>
<b>Transplante Raíz flotante RF</b>	<b>20</b>
<b>Cosecha</b>	<b>50</b>
<b>SUB-TOTAL MANO DE OBRA</b>	<b>345</b>
<b>TOTAL m<sup>2</sup></b>	<b>34,5</b>

**Cuadro**

## 11. Relación beneficio costo

TRATAMIENTOS	T1=NFT 17	T2=NFT 20	T3=RF 17	T4=RF 20
TOTAL COSTOS VARIABLES	74	74	74	<b>74</b>
TOTAL COSTOS FIJOS	419,67	419,67	419,67	<b>419,67</b>
TOTAL COSTOS	493,67	493,67	493,67	<b>493,67</b>
BENEFICIOS BRUTO	81,9	75,6	55,89	<b>46,12</b>
BENEFICIO/COSTO	0,16	0,15	0,11	<b>0,09</b>
BENEFICIO NETO	<b>-411,77</b>	<b>-418,07</b>	<b>-437,78</b>	<b>-447,55</b>

**Cuadro 12.** Datos de temperaturas máximas y mínimas durante el experimento

<b>Fechas</b>	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>
07/09/2014	4,1	42,4
11/09/2014	2,1	43,8
15/09/2014	3,5	52,3
17/09/2014	6,6	39,6
19/09/2014	7,2	37,7
21/09/2014	7,1	47
22/09/2014	7,1	36,6
26/09/2014	6,8	47,2
05/10/2014	6,2	52,3
06/10/2014	8,6	33,9
07/10/2014	7,8	41,2
10/10/2014	4,1	44,5
15/10/2014	5,2	46,1
17/10/2014	5	40,6
20/10/2014	4,5	44,3
23/10/2014	5,9	49,5
24/10/2014	6,9	42,1
26/10/2014	9,3	41,2
27/10/2014	8	43,2
31/10/2014	6,9	46
04/11/2014	8,3	53,1
06/11/2014	9,6	41,2
07/11/2014	11	42,3
10/11/2014	10	45,2
17/11/2014	9,4	45,2
19/11/2014	8,9	45,6
20/11/2014	9,1	44,8
21/11/2014	11,8	42,8
24/11/2014	9,5	55,5
28/11/2014	7,5	42,7
30/11/2014	11,4	51,7
04/12/2014	7,2	49,6
08/12/2014	8,4	48,9
12/12/2014	11,8	50,2
14/12/2014	10,3	49,7

# FIGURAS DEL ANEXO

Figura 1. Análisis de agua previo al experimento

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 75/15

Página 1 de 1

## INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A75/15

Cliente: FACULTAD DE AGRONOMÍA - UMSA  
Solicitante: Sr. Rivera Arredondo Nano Martin  
Dirección del cliente: Calle 16 de julio # 214, Zona Kupini  
Procedencia de la muestra: Centro Experimental de Cota Cota  
Provincia: Murillo  
Departamento: La Paz  
Punto de muestreo: Grifo de Carpa de Horticultura - Fac. Agronomía  
Responsable del muestreo: Sr. Rivera Arredondo Nano Martin  
Fecha de muestreo: 10 de junio de 2015  
Hora de muestreo: 10:15  
Fecha de recepción de la muestra: 10 de junio de 2015  
Fecha de ejecución del ensayo: Del 10 al 26 de junio, 2015  
Caracterización de la muestra: agua de grifo  
Tipo de muestra: Simple  
Envase: Btella Pett  
Código LCA: 75 -1  
Código original : A -1

## Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A -1 75 -1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	88
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	1,1
Sulfatos	SM 4500-SO4=E	mg/l	1,0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	2,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	0,65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	2,5
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO <sub>3</sub> /l	2,0	38
Fósforo total	EPA 365.2	P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/l	0,010	< 0,010
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	< 0,30

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)  
EPA= Environmental Protection Agency ( Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, julio 14 de 2015



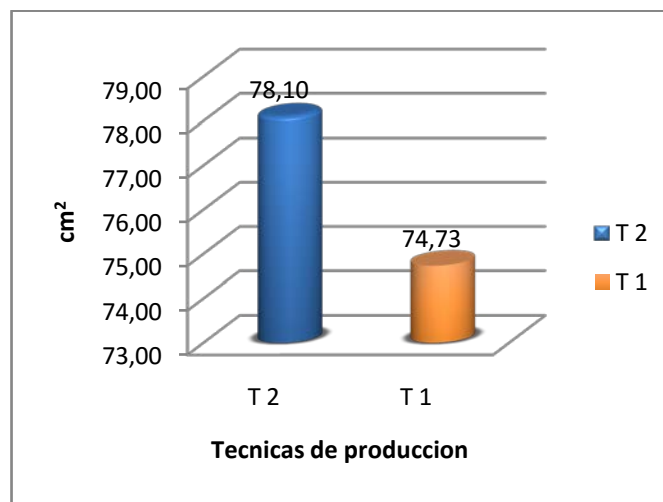
  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch:  
JCH/LCA

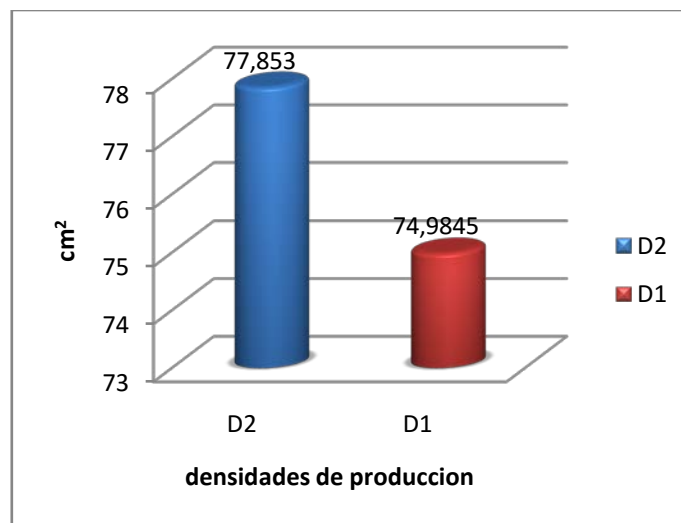
Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

**Figura N°2**, Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable área foliar para el factor A



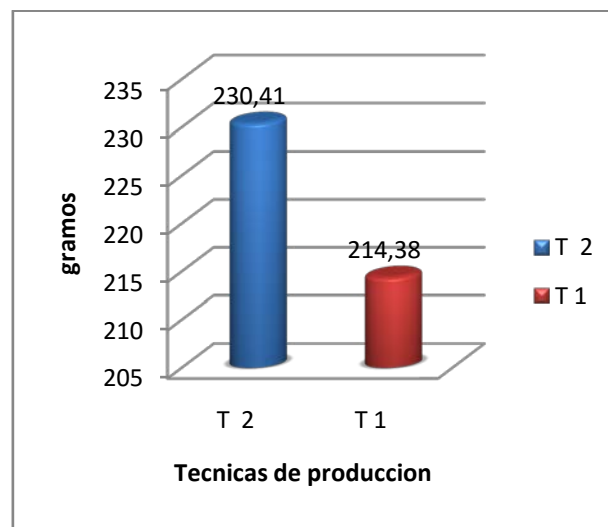
**Fuente:** elaboración propia (2017)

**Figura N°3**, Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable área foliar para el factor B



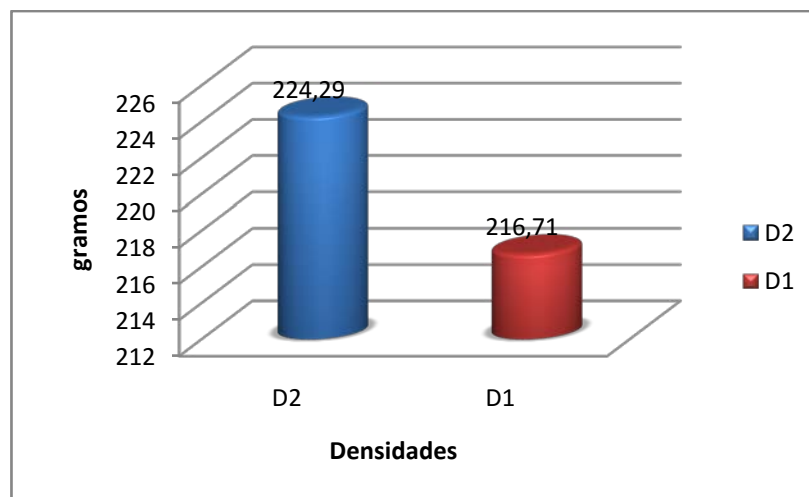
**Fuente:** elaboración propia (2017)

**Figura N°4,** Rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable materia fresca, factor A



**Fuente:** elaboración propia (2017)

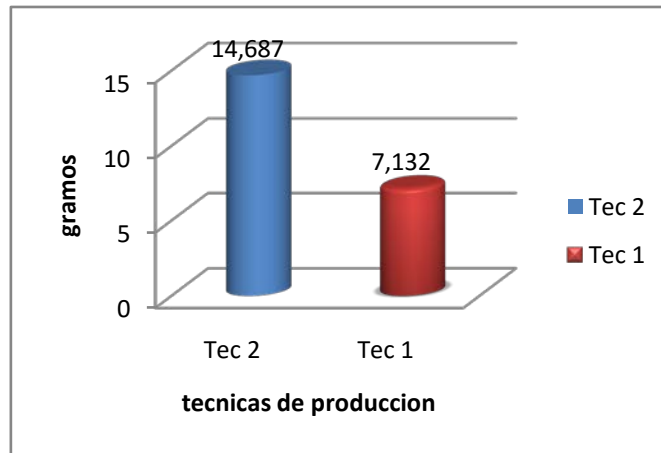
**Figura N°5,** Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable materia fresca, factor B



**Fuente:** elaboración propia (2017)

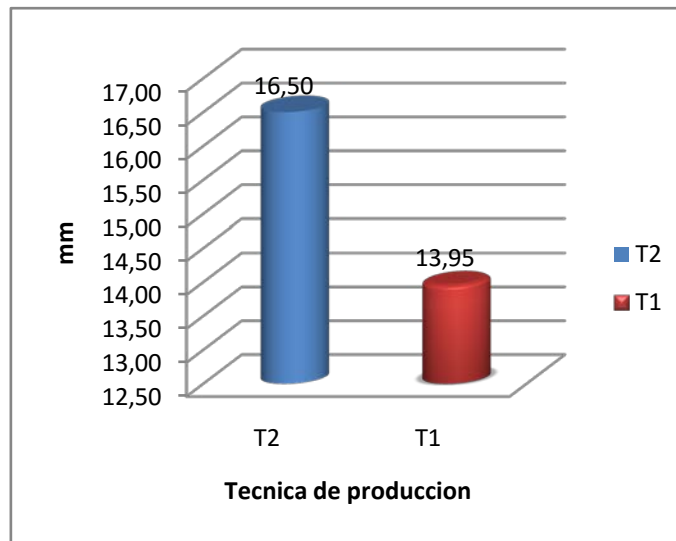


**Figura N°6.** Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable materia seca, factor A



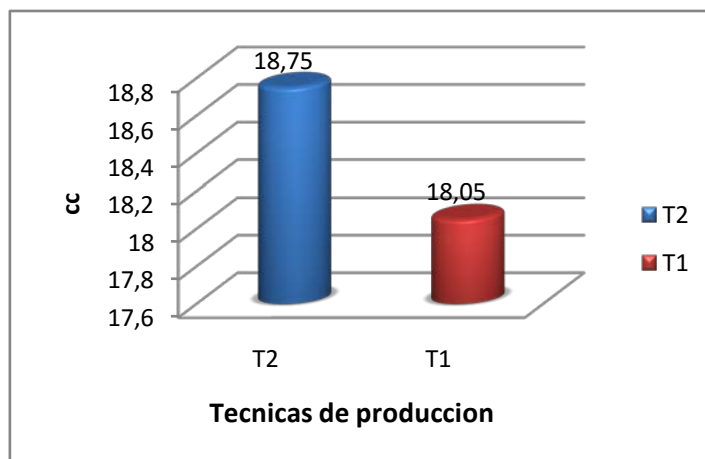
**Fuente:** elaboración propia (2017)

**Figura N°7.** Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable diámetro de cuello, factor A



**Fuente:** elaboración propia (2017)

**Figura N°8** Prueba de rangos múltiples Duncan, para los promedios de la variable volumen radicular, factor A



**Fuente:** elaboración propia (2017)

## FOTOGRAFÍAS DEL EXPERIMENTO DEL ANEXO

**Fotografía 1.** Construcción de la pirámide de la técnica NFT.



**Fotografía 2.** Construcción de las piscinas de la técnica RF.



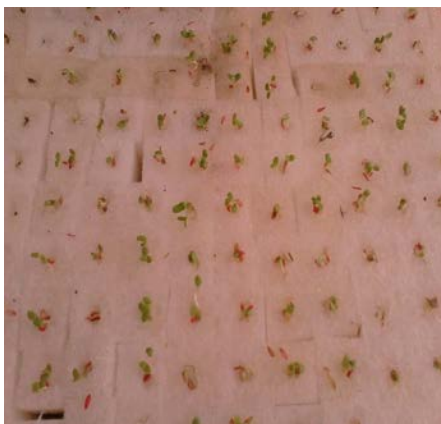
**Fotografía Nº 3.** Conexión e instalación de tanque y bomba de agua.



**Fotografía N°4.** Preparación de canales con plastoform para trasplante.



**Fotografía N°5.** Siembra en almacigueras con esponja.



**Fotografía N°6.** Plantin listo para el trasplante.



**Fotografía N°7.** Trasplante en la técnica NFT.



**Fotografía N°8.** Trasplante en la técnica RF.



**Fotografía N°9.** Cultivo en desarrollo en la técnica NFT y toma de datos.



**Fotografía N°10.** Cultivo en desarrollo en la técnica RF y toma de datos.



**Fotografía N°11. Cosecha.**



**Fotografía N°12. Pesado y embolsado.**

