

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CUATRO VARIEDADES DE  
LECHUGA CRESPA (*Lactuca sativa* L.) BAJO EL SISTEMA  
HIDROPÓNICO DE “NFT” EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE  
KALLUTACA**

**Por:**

**Maritza Angelica Layme Escobar**

**EL ALTO – BOLIVIA**

**Marzo, 2016**

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CUATRO VARIEDADES DE LECHUGA CRESPA  
(*Lactuca sativa* L.) BAJO EL SISTEMA HIDROPÓNICO DE “NFT” EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
para optar el Título de Ingeniero en  
Ingeniería Agronómica*

**Maritza Angelica Layme Escobar**

**Asesores:**

Ing. Víctor Paye Huaranca

.....

Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

.....

**Tribunal Revisor:**

Ing. Laoreano Coronel Quispe

.....

Ing. Gabriel Pari Flores

.....

Ing. Windson July Martinez

.....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador

.....



**DEDICATORIA:**

*Con todo mi cariño a mis queridos padres Eulogio Layme y Luisa Escobar, que me dieron su apoyo incondicional, que creyeron en mi sin pedir nada a cambio; por su paciencia y su amor.*

*Y a mis hermanos María, Adela, Edgar y Eloy Ronaldo, a ellos por brindarme su apoyo y su aliento de poder terminar esta hermosa carrera.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por iluminarme y guiarme durante todo este tiempo, por darme sabiduría e inteligencia y poder culminar este trabajo y mi carrera.

A mis queridos padres Eulogio Layme Choque y Luisa Escobar Gonzales por brindarme siempre su apoyo y amor incondicional, en todo este tiempo de estudio y vida, por enseñarme los valores de la vida y el superarse para un futuro mejor.

A mis queridos hermanas (os) María, Adela, Edgar, Eloy Ronaldo, por su apoyo moral y de aliento para culminar esta etapa de mi vida, dándome la fuerza el amor y el cariño sincero.

A esta hermosa Universidad Pública de El Alto (UPEA), por abrirme las puertas de esta casa superior de estudio, y brindarme los conocimientos y experiencias esenciales, para mi formación profesional y humana con la sociedad.

De igual manera agradezco a mi carrera Ingeniería Agronómica de UPEA, por adquirir los conocimientos que en futuro me serán muy útiles, por sus ambientes de estudio y sobre todo hicieron posible mi formación de estudio.

Mis más sinceros y profundo agradecimiento a mis asesores Ing. Víctor Paye Huaranca, e Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez por sus orientaciones, apoyo y guía durante todo el proceso de investigación del trabajo.

A mis tribunales revisores, conformados por; Ing. Laoreano Coronel Quispe, Ing. Gabriel Parí Flores y Ing. Windson July Martinez, por las sugerencias y observaciones oportunas, realizadas para la redacción del presente trabajo de tesis.

A todos mis estimados catedráticos de la carrera de agronomía, por brindarme sus enseñanzas, experiencias, conocimientos, valores de ser humano, los momentos de alegría, reflexión dentro del aula y fuera, en todo el transcurso de estudio.

A todas mis apreciadas amigas: Roxana, Ana Arminda, Nicol, Zulema, Angélica, Catalina, Griselda, Ema Eva, Verónica, Elvira y Blanca, quienes me apoyaron, motivaron a seguir

adelante en todo este tiempo y hasta el momento lo siguen haciendo, por sus consejos y la alegrías, gracias por su amistad incondicional.

A mis distinguidos amigos y compañeros: Melvin, Juan Emilio, Guiber, Rene, Willy, Dieffer, Julio Cesar, Fidel, Geordano, Cleto, Miguel Ángel, Marcos, Gonzalo, Galo y David. Por el afecto, comprensión y solidaridad desmedida en momentos de alegrías y tristezas, agradecerles por su valiosa amistad durante todo este tiempo años.

Además a todos mis compañeros de la carrera Ingeniería Agronómica que ellos siguen cursando, agradecerles por su amistad, que en un tiempo no muy lejano nos volveremos a reencontrar, sigan sus sueños metas y objetivos que se propongan, sin dejar de rendirse por alcanzarlos.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS .....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
ABREVIATURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv

## ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis .....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Origen de la lechuga crespa.....	4
2.2. El cultivo de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.).....	4
2.3. Países productores de lechuga a nivel internacional.....	5
2.4. Producción de lechuga en Bolivia .....	5
2.4.1. Producción de lechuga en el departamento de La Paz .....	6
2.5. Clasificación taxonómica .....	6
2.6. Características botánicas .....	6
2.6.1. Semilla .....	6
2.6.2. Raíz.....	7

2.6.3.	Tallo.....	7
2.6.4.	Hoja.....	8
2.7.	Variedades.....	8
2.7.1.	Red Boston .....	8
2.7.2.	Mantecosa.....	9
2.7.3.	Grand Rapids TBR .....	10
2.7.4.	Grand Rapids Waldmann's Green .....	11
2.8.	Valor nutricional de la lechuga .....	12
2.9.	Propiedades medicinales.....	14
2.10.	Requerimientos climáticos.....	14
2.10.1.	Temperatura .....	14
2.10.2.	Humedad relativa (H.R.).....	15
2.10.3.	Luz.....	15
2.11.	Etapas fenológicas.....	16
2.11.1.	Germinación.....	16
2.11.2.	Fase plántula .....	17
2.11.3.	Fase roseta .....	17
2.11.4.	Fase formación de cabeza .....	17
2.12.	Ciclo vegetativo.....	18
2.13.	Rendimiento.....	18
2.14.	Hidroponía.....	19
2.15.	Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico.....	19
2.15.1.	Ventajas .....	19
2.15.2.	Desventajas .....	20
2.16.	Sistema NFT ( <i>Nutrient Film Technique</i> ) o re-circulante .....	22
2.17.	Componentes para el sistema NFT.....	23

2.17.1.	Tanque recolector .....	23
2.17.2.	Red de distribución .....	24
2.17.3.	Canales de tubo PVC para la lechuga .....	24
2.17.4.	Electrobomba.....	24
2.17.5.	Tubería colectora.....	24
2.18.	Calidad del agua.....	24
2.19.	Solución nutritiva (SN).....	25
2.20.	Macronutrientes y micronutrientes .....	26
2.21.	Requerimientos nutricionales de la lechuga. ....	26
2.22.	Altura de la lámina de la solución nutritiva.....	27
2.23.	Temperatura del agua .....	27
2.24.	Potencial de hidrogeniones (pH).....	28
2.25.	Conductividad eléctrica (C.E.).....	28
2.26.	Oxígeno (O <sub>2</sub> ).....	29
2.27.	Duración y cambio de la solución nutritiva.....	29
2.28.	Cosecha.....	29
2.29.	Plagas y enfermedades.....	30
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1.	Localización .....	33
3.1.1.	Ubicación geográfica .....	33
3.2.	Características edafoclimáticas.....	34
3.2.1.	Clima .....	34
3.2.2.	Suelo .....	34
3.2.3.	Flora .....	34
3.3.	Materiales.....	34
3.3.1.	Material vegetal.....	34

3.3.2.	Material de campo .....	35
3.3.3.	Material y equipos de gabinete.....	35
3.3.4.	Insumos.....	36
3.3.5.	Otros.....	36
3.4.	Metodología .....	36
3.4.1.	Desarrollo del ensayo .....	36
3.4.1.1.	Nivelación del suelo .....	36
3.4.1.2.	Análisis físico-químico del agua .....	36
3.4.1.3.	Instalación del sistema NFT .....	36
3.4.1.4.	Instrumentos en uso .....	38
3.4.1.5.	Proceso de germinación en la cámara germinadora .....	38
3.4.1.6.	Preparación de la solución nutritiva .....	38
3.4.1.7.	Almacigo de la lechuga en bandejas.....	39
3.4.1.8.	Primer trasplante o post-almacigo de la lechuga.....	39
3.4.1.9.	Segundo trasplante o trasplante definitivo al sistema “NFT” .....	39
3.4.1.10.	Cosecha .....	40
3.4.1.11.	Control de plagas y enfermedades .....	40
3.4.2.	Diseño experimental .....	40
3.4.3.	Tratamientos en estudio .....	41
3.4.4.	Croquis experimental.....	41
3.4.5.	Variables de respuesta .....	42
3.4.6.	Variables agronómicas .....	42
3.4.6.1.	Altura de planta (cm) .....	42
3.4.6.2.	Número de hojas.....	42
3.4.6.3.	Largo de raíz.....	42
3.4.6.4.	Peso de planta (g).....	42

3.4.6.5.	Peso comercial (g)	42
3.4.6.6.	Ancho de hoja	42
3.4.6.7.	Largo de hoja	43
3.4.6.8.	Diámetro foliar (cm <sup>2</sup> )	43
3.4.6.9.	Área de hoja (cm <sup>2</sup> )	43
3.4.6.10.	Rendimiento	43
3.4.7.	Factores climaticos	43
3.4.8.	Intensidad de luz	43
3.4.9.	pH y CE de la solución nutritiva	44
3.4.10.	Temperatura de la solución nutritiva	44
3.4.11.	Análisis económico	44
3.4.11.1.	Relación beneficio/neto y beneficio/costo	44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.	Variables agronómicos	45
4.1.1.	Altura de la planta (cm)	45
4.1.2.	Número de hojas	47
4.1.3.	Largo de la raíz (cm)	48
4.1.4.	Peso de la planta (g)	49
4.1.5.	Peso comercial (g)	51
4.1.6.	Ancho de hoja (cm)	52
4.1.7.	Largo de hoja (cm)	53
4.1.8.	Diámetro foliar (cm <sup>2</sup> )	55
4.1.9.	Área de la hoja (cm <sup>2</sup> )	56
4.1.10.	Rendimiento (kg/planta)	58
4.2.	Factores climáticos	59
4.2.1.	Temperatura de máximas y mínimas del invernadero	59

4.2.2.	Humedad relativa HR del invernadero .....	60
4.2.3.	Intensidad de la luz .....	61
4.2.4.	Conductividad eléctrica y temperatura de la solución nutritiva.....	62
4.2.5.	pH de la solución nutritiva .....	64
4.3.	Análisis económico .....	66
4.3.1.	Beneficio/costo.....	66
4.3.2.	Análisis de tasa de retorno marginal .....	67
5.	CONCLUSIONES .....	70
6.	RECOMENDACIONES.....	72
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	73
8.	ANEXOS .....	83

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Los principales continentes productores de lechuga .....	5
Cuadro 2. Los 10 principales países productores de lechuga .....	5
Cuadro 3. Composición del valor nutricional de la lechuga .....	13
Cuadro 4. Comparación de rendimiento de lechugas geopónico e hidroponía .....	18
Cuadro 5. Hidroponía ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional. .	20
Cuadro 6. Macro y micronutrientes para la nutrición de las plantas.....	26
Cuadro 7. Requerimiento nutricional para el cultivo de la lechuga en hidroponía .....	27
Cuadro 8. Requerimiento nutricional para el cultivo de la lechuga en hidroponía .....	27
Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura de planta (cm) .....	45
Cuadro 10. Análisis de varianza de número de hojas .....	47
Cuadro 11. Análisis de varianza largo de la raíz (cm) .....	48
Cuadro 12. Análisis de varianza peso de la planta (g) .....	50
Cuadro 13. Análisis de varianza peso comercial (g).....	51
Cuadro 14. Análisis de varianza ancho de hoja (cm) .....	52
Cuadro 15. Análisis de varianza largo de hoja (cm) .....	54
Cuadro 16. Análisis de varianza de diámetro foliar (cm <sup>2</sup> ).....	55
Cuadro 17. Análisis de varianza de área de hoja (cm <sup>2</sup> ).....	57
Cuadro 18. Análisis de varianza de rendimiento (kg/planta) .....	58
Cuadro 19. Análisis de beneficio/costo .....	66
Cuadro 20. Beneficio/Costo parcial del cultivo de la lechuga en variedades.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Variedad Red Boston ( <i>Butterhead Lettuce</i> Boston 2014).....	9
Figura 2.	Variedad mantecosa (Propiedades de la lechuga 2014).....	10
Figura 3.	Variedad Grand Rapids TBR ( <i>Lettuce Seeds</i> 2014).....	11
Figura 4.	Grand Rapids Waldmann's Green ( <i>Lettuce-Leaf</i> 2014) .....	12
Figura 5.	Distintos estados de desarrollo de la semilla de <i>Lactuca sativa</i> L. durante la germinación en días (Sobrero y Ronco, 2004). .....	17
Figura 6.	El mapa de la disponibilidad del nutriente en la planta (La solución hidropónica 2015) .....	28
Figura 7.	Ubicación de la investigación en el centro experimental de Kallutaca (Google Earth 2015) .....	33
Figura 8.	Croquis del experimento (Fuente propia).....	41
Figura 9.	Medias de la altura de planta (cm) de 4 variedades de lechuga .....	46
Figura 10.	Medias de número de hojas de las 4 variedades de lechuga .....	47
Figura 11.	Medias de largo de la raíz (cm) de las 4 variedades de lechuga .....	49
Figura 12.	Medias de peso de la planta (g) de las 4 variedades de lechuga .....	50
Figura 13.	Medias del peso de la planta (g) de las 4 variedades de lechuga.....	51
Figura 14.	Medias del ancho de hoja (cm) de las 4 variedades de lechuga.....	53
Figura 15.	Medias de largo de la hoja (cm) de las 4 variedades de lechuga .....	54
Figura 16.	Medias de diámetro foliar (cm <sup>2</sup> ) de las 4 variedades de lechuga.....	56
Figura 17.	Medias de área de hoja (cm <sup>2</sup> ) de las 4 variedades de lechuga.....	57
Figura 18.	Medias de rendimiento (kg/planta) de las 4 variedades de lechuga .....	58
Figura 19.	Temperatura interna del invernadero .....	59
Figura 20.	Humedad relativa dentro del invernadero .....	61
Figura 21.	Intensidad de la luz registrada dentro del invernadero .....	62
Figura 22.	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva. ....	63
Figura 23.	Temperatura de la solución nutritiva y la CE. ....	64

Figura 24.	pH (Potencial de hidrogeniones) de la solución nutritiva.....	65
Figura 25.	Análisis de dominancia de lechugas en el sistema hidropónico.....	68
Figura 26.	La curva de análisis beneficios netos y tasa de retorno marginal (TRM)....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Análisis físico químico de agua .....	84
Anexo 2.	Infraestructura del sistema NFT en forma piramidal.....	85
Anexo 3.	Instalación del sistema NFT .....	85
Anexo 4.	Perforación de los tapones .....	86
Anexo 5.	Instalación de las bandejas flotantes para el almacigo.....	86
Anexo 6.	pH (peachimetro) .....	87
Anexo 7.	Conductivimetro .....	87
Anexo 8.	Termómetro para la solución nutritiva .....	88
Anexo 9.	Temperatura y humedad relativa del ambiente.....	88
Anexo 10.	Luxómetro .....	89
Anexo 11.	Almaciguera .....	89
Anexo 12.	Siembra de la lechuga .....	90
Anexo 13.	Cámara de germinación .....	90
Anexo 14.	Fertilizantes (g/L) utilizados en la preparación de la solución nutritiva .....	91
Anexo 15.	Peso de fetrilom-combi1 .....	91
Anexo 16.	Peso de nitrato de potasio .....	92
Anexo 17.	Oxigenación de 3 veces al día .....	92
Anexo 18.	Primer trasplante.....	93
Anexo 19.	Plántulas en bandejas flotantes con solución nutritiva .....	93
Anexo 20.	Trasplante definitivo.....	94
Anexo 21.	Sistema NFT ( <i>Nutrient Film Technique</i> ).....	94
Anexo 22.	Sistema NFT desarrollo del cultivo.....	95
Anexo 23.	Cosecha de las lechuga .....	95
Anexo 24.	Cosecha de la variedad Red Boston.....	96

Anexo 25.	Cosecha de la variedad Grand Rapids TBR .....	96
Anexo 26.	Comercialización.....	97
Anexo 27.	Costos de producción de cada variedad de lechuga en tratamiento .....	97

**ABREVIATURAS**

m	Metros
cm	Centímetro
t	Tonelada
tm	Tonelada métrica
kcal	Kilo calorías
L	Litros
Lx	Luxes
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
ppm	Partes por millón
$\mu\text{m}$	Micrómetro
g	Gramos
kg	kilogramos
$\mu\text{gER}$	microgramos equivalentes retinol
Zn	Zinc
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados

## RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, sede de la Universidad Pública de El Alto, con el objetivo de evaluación agronómica de cuatro variedades de lechuga crespa (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema hidropónico NFT. Las variedades utilizadas fueron Mantecosa, Grand Rapids TBR, Red Boston (testigo) y Grand Rapids Waldmann's Green, realizando un diseño experimental completamente al azar (DCA). Las cuales no fueron significativas entre variedades de lechuga. Se evaluó variables agronómico donde la variedad Grand Rapids TBR tuvo un mayor valor con 21.41 cm en altura de planta. En número de hojas la variedad más sobresaliente, fue Red Boston (testigo) con un promedio de 14.80 hojas/plantas. Seguidamente se realizó el largo de la raíz, donde la variedad Grand Rapids TBR es la que presento mayor valor con 25.50 cm. La variedad Mantecosa obtuvo un peso de planta de 244.92 g, donde presenta un valor superior a los demás. En peso comercial la variedad Mantecosa con 0.230 kg/planta, fue la que alcanzo mayor valor en peso. El ancho de hoja presentan que la variedad con mayor promedio fue Mantecosa con un valor de 13.67 cm. Largo de hoja la más sobresaliente en sistema hidropónico fue; Red Boston (testigo) con un 21.33 cm. En el diámetro foliar la variedad Grand Rapids TBR con mayor valor de mayor promedio, con 99.89 cm<sup>2</sup>. En el rendimiento de peso la variedad Mantecosa con 0.230 kg/planta, fue la que alcanzo mayor valor en peso. Por otra parte tenemos en el de beneficio/costo, la variedad Mantecosa obtuvo un precio de 4 Bs, donde este producto es favorable y rentable para el agricultor, donde el beneficio/costo es mayor a 1. La tasa de retorno marginal nos dio con exactitud, que la Mantecosa es la más rentable a diferencia a los demás.

## ABSTRACT

The investigation was carried out in the Experimental Station of Kallutaca, headquarters of the Public University of The High one, with the objective of agronomic evaluation of four varieties of frizzy lettuce (*Lactuca sativa* L.) under the system hidropónico NFT. The used varieties were Buttery, Grand Rapids TBR, Net Boston (witness) and Grand Rapids Waldmann's Green, carrying out an experimental design totally at random (DCA). Which were not significant among lettuce varieties. You evaluates agronomic variables where the variety Grand Rapids TBR had a bigger value with 21.41 cm in plant height. In number of leaves the variety more on salient, was Net Boston (witness) with an average of 14.80 hojas/plantas. Subsequently he/she was carried out the long of the root, where the variety Grand Rapids TBR is the one that I present bigger value with 25.50 cm. The Buttery variety he/she obtained a weight of plant of 244.92 g, where it presents a superior value to the other ones. In commercial weight the Buttery variety with 0.230 kg/planta, the one that I reach bigger value in weight was. The leaf width presents that the variety with more average was Buttery with a value 13.67 Long cm. of leaf the most excellent in system hidropónico was; Net Boston (witness) with a 21.33 cm. In the diameter to foliate the variety Grand Rapids TBR with more value of more average, with 99.89 cm<sup>2</sup>. In the yield of weight the Buttery variety with 0.230 kg/plant, the one that I reach bigger value in weight was. On the other hand we have in that of beneficio/costo, the Buttery variety obtained a price of 4 Bs, where this product is favorable and profitable for the farmer, where the beneficio/costo is bigger at 1. The rate of marginal return gave us with accuracy that the Buttery one is the most profitable to difference to the other ones.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se llega a observar que en nuestro medio, la producción y el consumo de hortalizas se incrementaron, en mucho de los sectores del país, es muy importante para el ser humano debido a su alto contenido de valor nutritivo. Las verduras son plantas herbáceas, debida a las diferentes utilidades de la planta como ser; raíz, tallo, hoja, fruto o semilla.

La producción de hortalizas en Bolivia es de aproximadamente 240000 toneladas, produciéndose variedades de hortalizas como: apio, brócoli, berenjena, lechuga, pimentón, tomate, vainita, zanahoria, zapallo y otros; siendo una diversidad mayor a 30 especies. El consumo de hortalizas en Bolivia es de 15 kg/personas/año en el área rural y 30.5 kg/personas/año en el área urbana (FDTA-Valles 2010).

El cultivo de la lechuga crespa (*Lactuca sativa* L.) es de ciclo corto, en condiciones controladas (invernaderos o carpas), puede estar garantizada durante todo el año, logrando el máximo rendimiento y de alta calidad comercial, sobre todo aplicando la tecnología moderna. Su producción es de menor costo siendo de esa manera un cultivo rentable, para ofertar a un precio competitivo en el mercado, y generar un ingreso favorable para el agricultor. La planta es favorable importante para el ser humano debido a su alta digestibilidad, proporciona energía, rico en vitaminas, minerales y es comestible fácil de preparar, en medicina un anestésico usado para ciertas enfermedades crónicas.

El sistema de NFT (*Nutrient Film Technique*) o recirculante que en español significa Técnica de la Película Nutriente o de la película nutritiva, es nuevo en nuestro país, donde la información para los agricultores es reciente. Este sistema hidropónico consta de reutilizar el agua y de usar fertilizantes en cantidades pequeñas, la raíz está en directo contacto con el agua, las producciones alcanzadas con este sistema, son mayores en menor tiempo y de fácil manipulación. Además tiene menos problemas con presencias de enfermedades patógenos presentes en el suelo y plagas, no requiere de mucho espacio y es un medio para cultivar sin tierra (Resh 2006).

En la hidroponía uno de los factores más importantes es la solución nutritiva, que se suministra a las plantas, esta debe contener todos los nutrientes esenciales, como los macros y micronutrientes que necesite la planta para su desarrollo y producción, los nutrientes a usar necesariamente son hidrosolubles para una buena absorción del cultivo.

La dificultad que se ve en la producción de la lechuga es a la poca existencia de agua que aqueja a nuestras distintas regiones de nuestro país, la desmedida cantidad de uso de fertilizantes usados por los agricultores en parcelas, sin antes realizar un análisis previo del suelo, dañando y destruyendo el sector a cultivar donde se tiene suelos en erosión, algunas variedades de semillas de lechuga no son viables esto afecta para un buen rendimiento y la falta de investigación para la recomendaciones de variedades que se pueda optar para un buen ingreso del producto, la existencia de ataques de plaga y enfermedades que dañan al cultivo, no existe mucha información de nuevas alternativas de sistemas hidropónicos para los agricultores.

### **1.1. Justificación**

El sistema NFT en la medida que se pretende generar nuevas alternativas, es una técnica joven y avanzada de producción, hoy en día cumple un papel muy importante para el desarrollo global en la agricultura, por el incremento demográfico y los cambios climáticos.

El ahorro de agua es muy importante por lo cual se vuelve a reutilizar por 3 semanas, se puede instalar en zonas urbanas y rurales, no exige grandes superficies, la cantidad de nutrientes que se usa para el cultivo son en pequeñas proporciones. Poder detectar variedades de semillas que si sean viables antes del trasplante. Donde el ataque de plagas y enfermedades no existe por la forma de su estructura en piramidal.

Con este sistema se procede a obtener alimentos sanos de calidad y sobre todo frescos para el consumo humano, que pueda satisfacer las exigencias del mercado, el sistema de producción es mayor a de tradicional, y las ventajas para el productor son favorables, pero tomando en cuenta el manejo, el agua, espacio y tiempo.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

- Evaluar las características agronómicas de cuatro variedades de lechuga crespa (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema hidropónico NFT (*Nutrient Film Techonologic*) o Técnica de la Película Nutriente, en la Estación Experimental de Kallutaca.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L), bajo el sistema NFT.
- Evaluar el rendimiento de la lechuga de cuatro variedades en el sistema NFT, mediante peso planta al final de la cosecha con la solución nutritiva suministrada.
- Determinar la relación B/C de producción y la rentabilidad del cultivo de la lechuga con cuatro variedades en el sistema hidropónico NFT.

## 1.3. Hipótesis

- **H<sub>0</sub>**.- No existen diferencias significativas en el desarrollo de las cuatro variedades de lechuga en producción, bajo el sistema NF o re-circulante, en la Estación Experimental de Kallutaca.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Origen de la lechuga crespa**

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque hoy en día los botánicos no se ponen de acuerdo, pero existe un antecesor de la lechuga la *Lactuca carriola* L., que se encuentra en estado silvestre en zonas templadas creciendo en prados, pendientes rocosos y terrenos baldíos de Asia y norte de África hasta el norte de Europa (Mallar, citado por Salinas 2013).

Según Rubio (2013) señala que la lechuga, procede de la India con una antigüedad de 2.500 a.C., siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas que se tienen de referencia son las de hojas sueltas, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI.

Las lechugas son nativas de las regiones templadas de Europa, Asia y América del Norte, donde estas plantas fueron domesticadas por los egipcios, en los años de 4500 a.C. y se cultivaba desde la antigüedad en Grecia. Fue traída a América en los años 1600 por los Europeos (Gamboa 2013).

### **2.2. El cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

Cásseres (1989) señala que la lechuga es una de las hortalizas de mayor importancia y preferencia, por su alto valor nutritivo para el consumo humano, conocidas en todos los países del globo terráqueo. En Bolivia este cultivo se ha generalizado en todas sus regiones y se ha incrementado en las diferentes épocas durante todo el año.

Ocupa un lugar importante dentro de la producción hortícola por sus características de crecimiento, ciclo corto y aportador de vitaminas y minerales frescos dentro de la dieta alimentaria (Ruiz *et al.* 1992).

Ruiz y Fernández (2013) señalan que es una planta anual propia de las regiones semi-templadas, que se cultiva con fines alimentarios. Debido a las muchas variedades que existen, su producción es cada vez mayor en invernaderos, se puede consumir durante todo el año.

### 2.3. Países productores de lechuga a nivel internacional

Frutas y Hortalizas (2015) mencionan que Asia es el principal continente y productor, con la mitad de la producción mundial, seguidamente Norteamérica y Europea.

**Cuadro 1. Los principales continentes productores de lechuga**

Continente	Miles de toneladas	%
África	63	-
Asia	8.428	50
Europa	3.560	21
Norteamérica	4.502	27
Sudamérica	208	1
Oceanía	165	1
Total	16.926	100

Fuente: FAO, (2000)

Entre los principales países productores de lechuga se encuentran:

**Cuadro 2. Los 10 principales países productores de lechuga**

País	Miles de toneladas
China	6.255
Estados Unidos	4.230
España	1.050
Italia	923
India	770
Francia	630
Japón	540
Turquía	295
Bélgica-Luxemburgo	180
Reino Unido	175

Fuente: FAO, (2000)

### 2.4. Producción de lechuga en Bolivia

La superficie cultivada del cultivo de la lechuga fue de 1.223 ha, la producción de 10.799 tm y el rendimiento 8.830 kg/ha, en el año agrícola 2007 - 2008 (INE-ENA 2008).

### 2.4.1. Producción de lechuga en el departamento de La Paz

INE-ENA (2008) señala que la superficie cultivada del cultivo de la lechuga es de 192 ha, la producción fue de 1.506 tm y el rendimiento fue de 7.844 kg/ha, en el año agrícola 2007 - 2008.

### 2.5. Clasificación taxonómica

Según Infoagro (2008) este cultivo tiene la siguiente clasificación:

- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Tribu: Lactuceae
- Género: *Lactuca*
- Especie: *sativa* L.
- Nombre binomial: *Lactuca sativa* L.

El nombre genérico "*Lactuca*" procede del latín *lac, tis* (Leche), tal etimología refiere al líquido lechoso (o sea, de apariencia "*láctea*"), que es la savia que exuda los tallos de esta planta al ser cortados. El adjetivo específico "*Sativa*" hace referencia a su carácter de especie cultivada (Inspirulina 2014).

Horticultura Efectiva (2011) menciona que la palabra lechuga procede del latín "*Lactuca*" (leche o lácteo). Es una planta herbácea, anual, propia de las regiones semitempladas y cultivadas en todo el mundo. Por las cuales existe varios tipos: romanas, acogolladas y de hojas sueltas.

### 2.6. Características botánicas

#### 2.6.1. Semilla

Granval y Gaviola (2013) señalan que la semilla de lechuga es botánicamente un "*aquenio*", que tiene forma abovada, achatada, con 3 a 5 costillas en cada cara; es de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 4 mm de longitud. En su base se encuentra el "*vilano*" o "*papús*" plumoso que facilita la diseminación por el viento, este se desprende fácilmente quedando el aquenio semilla limpio.

Un aspecto de extrema importancia es la calidad de la semilla, pues está demostrado que la semilla de algunas variedades, si están recién recogidas, no germinaran en lo absoluto y que las semillas de mayor tamaño son mucho mejor que las pequeñas, por la cual se requiere sembrar semillas de uno a dos años de su cosecha, la viabilidad no puede ser menos del 80% (FAO 2006).

Montes de Oca (2009) menciona que la semilla de la lechuga son largas (4 - 5 mm), que su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas, y estima que en 1 gramo de semilla de lechuga existe entre 1000 a 1200 semilla. Para inducir su germinación se puede utilizar temperaturas ligeramente elevadas de 20 a 30 °C para poder inducir la germinación de las semillas.

### **2.6.2. Raíz**

Ekonekazaritza (2005) indica que el sistema radicular es pivotante 20 - 30 cm, espeso y cabelludo, la planta presenta látex blanco y según cultivares, antocianinas (pigmentos que dan coloración roja, violeta o azul a flores, frutos y raíces) cuya síntesis se ve favorecida por condiciones desfavorables del cultivo, principalmente por bajas temperaturas.

Presenta un eje principal carnoso, poco ramificado, puede llegar a medir hasta 1.80 m de profundidad, por la cual tiene numerosas raíces laterales, estas se desarrollan en la capa superficial del suelo en los primeros 30 cm (Granval y Gaviola 2013).

Palacios (2015) menciona que la raíz de la lechuga es de características, pequeña y no suele alcanzar más de los 20 cm de profundidad.

### **2.6.3. Tallo**

Granval y Gaviola (2013) se refieren que el estado óptimo de cosecha para el mercado es muy corto, es una planta casi acaule luego cuando culmina su etapa comercial comienza a desarrollar el tallo floral, que es el alargamiento del mismo para dar origen a la etapa reproductiva. Este puede llegar a medir de 1 a 1.20 m en algunos cultivares.

Díaz (2009), da a conocer que el cultivo de lechuga es una planta anual, con una altura de 15 a 30 cm y con un periodo vegetativo muy corto.

Es una planta herbácea que puede alcanzar una altura de unos 25 cm cuando no ha iniciado la subida a flor (Escobar 2003).

#### **2.6.4. Hoja**

Granval y Gaviola (2013) definen que la forma de la lechuga puede ser lanceolada, oblonga, abovada, redonda. El borde de la hoja puede ser liso, lobulado, ondulado, dentado (crespo). La superficie es plana, rugosa o abarquillada. Por el color puede ser amarilla, verde claro, verde oscuro, rojiza y purpuras. Por su consistencia puede ser rígidas (tipo capuchinas); tiernas o suaves (tipo mantecosas), por su gustos levemente amargas o dulces.

Las hojas de la lechuga son numerosas en densas rosetas (hojas caulinares alternas, más pequeñas). Además, son ovaladas, brillantes y opacas, dependiendo del tipo y variedad, es así que, en variedades de repollo las hojas bajas son grandes y largadas, que se van apretando hasta tomar formar de repollo o cabeza (Montes de Oca 2009).

Salinas (2014) menciona que las hojas están colocadas en rosetas, desplegadas; en unos casos siguiendo así durante todo su desarrollo variedades romanas, y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos pueden ser lisos, ondulados o aserrados.

### **2.7. Variedades**

Según Hydroenv (2013) existen varios tipos lechugas de hojas sueltas estas son: apropiadas para huertas escolares y mercados, locales por la cual el ámbito de su crecimiento es vertical; dentro de estas existe 2 clases de lechuga las cuales son: hojas crespas o rizadas y de hojas suaves.

#### **2.7.1. Red Boston**

Según Boston Roja (2014) menciona que se nombra por su cultivador original, John Bibb en el año 1865, donde esta variedad se volvió la primera lechuga gastronómica en Americana. La Boston roja o Red Boston, llega hacer el descendiente de las primeras variedades de *Lettuce* de *butterleaf* rojos, se desarrolla en climas de campo e invernaderos, donde la tecnología aumenta los rendimiento, crecimiento y sabor de la planta, las hojas son verdes onduladas anchas teñidas con los colores de vino Borgaño

en las puntas, forman un rosetón compactas, que tienen especial dulzor formando así una textura y sabor agradable.

La lechuga Red Boston es un apacible condimento, donde la verdura de la hoja normalmente es preparada en ensaladas y bocadillos, la hoja roja es muy similar a la variedad de la hoja verde es su textura tierna, pero las cimas de las hojas tienen color rojizos púrpura, es excelente en vitaminas A y K, donde el 42% y 49% es lo que se obtienen en una taza respectivamente, solo se obtiene 4 calorías (Boston Organics 2014).



**Figura 1. Variedad Red Boston (*Butterhead Lettuce Boston 2014*)**

### **2.7.2. Mantecosa**

Granval y Gaviola (2013) señalan que las hojas son anchas, aceitosas y de color verde claro, borde liso, ligeramente ondulado, aspecto muy suave consistencia firme y semilla blanca.

En la lechuga mantecosa es una planta anual, propia de las regiones semi-templadas; se aprovecha las hojas, las cuales son de diferentes formas, tienen un sabor dulce y son consumidas crudas. Es una especie extraordinariamente polimorfa en colores (verdes, amarillos, moradas), su textura (crujientes, mantecosas, batavias). Se puede cultivar y consumir durante todo el año (Semillasbatlle 2014).

Presenta hojas sueltas y tienen un sabor mantecoso, son las más populares en el mercado Europeo y presenta variedades tales como Bibb, Tom Thumb, etc. (Hidroponía CR 2009).



**Figura 2. Variedad mantecosa (Propiedades de la lechuga 2014)**

### **2.7.3. Grand Rapids TBR**

Según Seeds (2014) señala que se originó en el jardín de Jonathan y Eugenio Davis, hermanos que residen en Michigan, la variedad tiene un crecimiento rápido y no se pudre fácilmente, muy útil para la industria de la lechuga, proviene de la ciudad de Grandes Rápidos en Michigan.

La lechuga posee una tolerancia al calor, el cultivo se siembra superficialmente en tierra fina, fertilizando adecuadamente para obtener un rápido desarrollo, se debe mantener siempre en constante humedad, sus hojas son de color verde claro (Semillero San Alfonso 2014).

Guasch (2014) indica que la variedad es de madurez precoz, que la cabeza es de hojas abiertas de tamaño grande, de color verde claro, anchos de tipo escarola, la semilla es negra, poseen alguna tolerancia al calor.



**Figura 3. Variedad Grand Rapids TBR (*Lettuce Seeds* 2014)**

#### **2.7.4. Grand Rapids Waldmann's Green**

Victory (2014) menciona que esta variedad es originada por su creador, John Waldmann de Cincinnati, que selecciono y estabilizó la variedad de una mutación natural, con la variedad de la lechuga Gran Rapids, por Joseph la Harris. La semilla proviene de la compañía de Rochester, Nueva York en 1958 donde cada paquete tiene un aproximado de 500 a 600 semillas, en 50 días se obtiene ya hojas grandes, resistentes, de hojas verde oscuras, las plantas son derechas, productivas y uniformes.

Es una variedad de hojas abiertas de tamaño mediano y largas, el color de la hoja es verde oscuro, onduladas de tipo escaroladas, su aspecto es de tipo Grand Rapids, la semilla es negra (Guasch 2014).

HORTSCIENCE (2011) indica que el color de las hojas es verde, los márgenes son ligeramente cortados, dentados, ondulado; la superficie es rizada o ampollada, la anchura y longitud es aproximadamente igual, la textura es relativamente suave y flexible, es apacible y de dulce sabor. La semilla es de matiz de negra.



**Figura 4. Grand Rapids Waldmann's Green (*Lettuce-Leaf* 2014)**

## **2.8. Valor nutricional de la lechuga**

Pamplona (2006) describe y da a conocer que es un alimento rico en agua 94.9%, también aporta una cantidad relativamente alta en proteínas del 1.62%, un poco más que las papas 2.07%, pobre en hidratos de carbón 0.67% y en grasas 0.2%, lo cual explica su bajo aporte energético 16 kcal/100 g, el valor nutritivo de la lechuga dependen de los siguientes componentes:

- Provitamina A: 100 g de la lechuga aporta  $\mu\text{gER}$  (microgramos equivalentes retinol), lo cual supone la cuarta parte de las necesidades diarias de esta provitamina.
- Vitaminas del Grupo B: Es rica en B<sub>1</sub> 0.1 mg/100 g y B<sub>2</sub> 0.1 mg/100 g y sobre todo en folatos 135.7  $\mu\text{g}$ /100 g.
- Vitamina C: 24 mg/100 g, un poco menos que la mitad de una naranja o limón.
- Minerales: Contenidos de potasio 290mg/100g y hierro 1.1mg/100g, como también existe la presencia de calcio, fosforo y magnesio, también existe los oligoelementos zinc, cobre y manganeso.
- Fibra Vegetal: 1.7% contribuye al efecto laxante.

**Cuadro 3. Composición del valor nutricional de la lechuga**

por cada 100g de parte comestible cruda		
Energía	16.0 Kcal=67.0 kJ	1%
Propiedades	1.62 g	3%
Hidrogeno de carbono	0.67 g	1%
Fibra	1.70 g	7%
Vitamina A	260 µg ER	30%
Vitamina B1	0.100 mg	7%
Vitamina B2	0.100 mg	7%
Niacina	0.700 mg EN	6%
Vitamina B6	0.047 mg	4%
Folatos	136 µg	70%
Vitamina B12	-	1%
Vitamina C	24.0 mg	40%
Vitamina E	0.440 mg EαT	4%
Calcio	36.0 mg	5%
Fosforo	45.0 mg	6%
Magnesio	6.00 mg	2%
Hierro	1.10 mg	12%
Potasio	290 mg	19%
Zinc	0.250 mg	2%
Grasa Total	0.200 g	1%
Grasa Saturada	0.026g	1%
Colesterol	-	1%
Sodio	8.00 mg	1%
% de la CDR (cantidad diaria recomendada) cubierta por 100 g de este alimento		

Fuente: Pamplona, (2006)

Botanical-online (2015) señala que por lo general las hojas, son unos alimentos muy livianos compuestos por un 95% por agua. Los demás componentes que contienen son:

- Fibra: Pectinas
- Ácidos grasos: Linoleico, oleico, palmítico, esteárico
- Aminoácidos : Alinina, cistina, histidina, glicina, isoleucina, leucina, lisina serina, tirosina, valina, ácido glutaminico (Hojas)
- Ácidos: Cítrico, malico, oxálico
- Vitaminas: A (betacarotenos), C,E,B1,B2,B3 (Hojas)

- **Minerales:** Potasio, calcio, magnesio, sodio, azufre, hierro, aluminio, cobre, cobalto, silicio, selenio, molibdeno, circonio, itrio (Hojas), estroncio (Tallo).
- **Lactucina** (principio activo con propiedades sedantes, tónicas y antitumorales).

## **2.9. Propiedades medicinales**

Pardo (2001) da a conocer que, el consumo de hojas frescas se utiliza para aliviar el estreñimiento, la debilidad del estómago, la dispepsia y la mucosidad de la garganta, donde las hojas producen efectos refrescantes, tranquilizadores, fortificantes y aperitivos. También su uso es para proporcionar un sueño tranquilo y reparador, donde tranquilizan y fortifican los nervios por la cual es un reductor de azúcar en la sangre, el látex es utilizado como calmante y narcótico.

La lechuga tiene principios de sedantes, la lactucina presenta un efecto de tranquilizante, ayuda a calmar los nervios, dormir mejor, evitando el insomnio (tomar una buena ensalada de lechuga antes de irse a dormir). También está considerada como los mejores diuréticos es decir, que favorece a la eliminación de orina, estimula a los riñones para aumentar la micción. Se recomienda en casos de obesidad, hipertensión arterial, hidropesía es la acumulación de líquido en el cuerpo con hinchazón en los tejidos), es buena para las dietas de diabetes, controla la flatulencia (barriga hinchada, aliviándolo de las inflamaciones intestinales (Botanical-online 2015).

Gracia (2012) afirma que la hoja tiene un alto contenido en fibra, la sabiduría popular le confiere propiedades contra la anemia y debilidad en general, diurético, favorecedora del sueño (recomendada para los que padecen de insomnio) e incluso para la cura de bronquitis leve.

## **2.10. Requerimientos climáticos**

### **2.10.1. Temperatura**

Vallejo y Estrada (2004) mencionan que la lechuga es típica de temperaturas de 15 – 20 °C debido a su origen. En climas tropicales su desarrollo es más favorable durante el año, para el desarrollo del cultivo, esta requiere una óptima de 15 y 18 °C, con máximas de 21 a 24 °C y mínimas de 7 °C.

El cultivo es extremadamente delicado, en relación a sus requerimientos ambientales, donde por otro lado para la producción en calidad de la lechuga se obtiene con temperaturas de 5 - 12 °C de noche y 17 - 28 °C de día, siendo 22°C la óptima (Giaconi y Escaffé 2004).

Mateo (2005) da a conocer que el cultivo de lechuga es poco exigentes en temperaturas (la temperatura ideal es de 12 - 24 °C, y temperaturas mínimas de 5 °C).

Durante la fase de crecimiento del cultivo se requiere temperaturas entre 14 - 18 °C por el día y de 5 - 8 °C por la noche pues la lechuga exige que exista diferencia entre el día y la noche, puede soportar temperaturas elevadas que las bajas ya que como máxima soporta hasta 30 °C (Maocho 2009).

### **2.10.2. Humedad relativa (H.R.)**

Infoagro (2015) señala que el sistema radicular de la lechuga es muy reducido a comparación de la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad, en periodos de sequía donde la planta puede llegar a morir. Puede tolerar una humedad de 60 - 80%, aunque en determinados momentos deberá ser menos del 60%.

Respecto a la humedad relativa la lechuga si es bastante delicada, pues es una planta muy sensible a la falta de la humedad en el ambiente, la cual se debe tratar de mantener entre 60 - 80% (Maocho 2009).

SEDAF (1999) recomienda tener una humedad relativa del aire para la producción de lechuga, de 60 - 70%, y la humedad del suelo más propicia de 60 - 70% de la capacidad de campo. La insuficiencia de dicha mención (menor 60% de la capacidad de campo) y en el aire, disminuye marcadamente el producto, mientras el exceso también afecta la calidad, donde aumenta la incidencia de enfermedades.

### **2.10.3. Luz**

Hydro Environment (2015) define que la intensidad de la luz se mide en luxes (lx) el lux es la unidad derivada del sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación un lux, donde para poder saber si contamos con una buena iluminación en nuestro cultivo debemos utilizar el luxómetro que nos dará de forma precisa la cantidad de

iluminación expresada en luxes, los rangos óptimos para, la lechuga es de 10000 - 40000 (lx).

Las condiciones internas del invernadero y su adaptación a las exigencias de las plantas durante las fases del ciclo del cultivo de la lechuga, es necesaria, la intensidad luminosa de 5000 a 15000 (lx) para el desarrollo del cultivo (Méndez 2015).

Serrano (2005) menciona que los factores climáticos son óptimos, si se desea el aprovechamiento máximo de la actividad de iluminación de luz, para el desarrollo del cultivo, donde el nivel es de 12000 a 30000 (lx) de esta forma la producción será favorable.

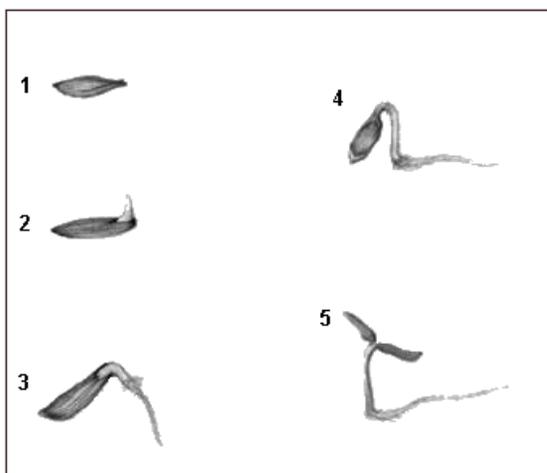
## **2.11. Etapas fenológicas**

### **2.11.1. Germinación**

García (2013) señala que la temperatura óptima para la germinación de las semillas se sitúa entre los 18 y los 20°C, dando de esta forma su emergencia de las plántulas en 2 a 3 días, donde se produce un efecto inhibitor muy marcado.

La semilla germina con temperaturas de 20 - 26°C con óptimas de 24°C, en cuyo caso aparecen los plantines de 2 a 3 días después de sembrar, cuando se expone a la de la luz acelera su germinación (CGTU 2001).

Tapia (2009) menciona que es un proceso de 3 fases: 1<sup>ra</sup> fase es la hidratación, por la cual tiene una intensa absorción de agua, donde aumenta progresivamente la actividad respiratoria. 2<sup>da</sup> fase germinación, las transformaciones metabólicas importantes, imprescindibles para la fase de crecimiento y normal desarrollo del plantin, se reduce considerablemente la absorción de agua. 3<sup>ra</sup> fase crecimiento, es la última etapa del proceso de germinación, cambios morfológicos visibles, elongaciones de la radícula, incremento de la absorción del agua y de la actividad respiratoria.



**Figura 5. Distintos estados de desarrollo de la semilla de *Lactuca sativa* L. durante la germinación en días (Sobrero y Ronco, 2004).**

### **2.11.2. Fase plántula**

Paye (2013) señala que la aparición de la radícula, emergencia de los cotiledones, crecimiento radicular en profundidad, aparición de 3 a 4 hojas verdaderas, es da entre 3 a 4 semanas.

Una vez que la semilla ha germinado se tiene la plántula, que requiere de un ambiente y un medio diferente, este ambiente se lo brinda en bandeja de cultivo, en esta etapa la plántula requiriere luz moderada y que para el desarrolló se da en ambientes sin exceso de humedad (Martínez y García (1993), citado por Zambrano 2014).

### **2.11.3. Fase roseta**

Galván *et al.* (2008) mencionan que la fase de roseta se da con la aparición de nuevas hojas donde disminuye el acortamiento de los “peciolos”, formación de roseta de 12 a 14 días, en 3 a 4 semanas, en esta etapa la planta llega de 12 a 14 hojas.

### **2.11.4. Fase formación de cabeza**

Galván *et al.* (2008) indican que las hojas son más anchas que largas, curvadas por el eje de la nervadura central, en posición erecta, en consecuencias las hojas quedan envueltas, entre las otras anteriores, la duración es de 2 a 3 semanas.

## 2.12. Ciclo vegetativo

Escobar (2003) da a conocer que la producción de lechuga crespa o hojas sueltas es de aproximadamente de 9 semanas, para lo cual está lista para la cosecha.

Puede cultivarse en hidroponía, el ciclo del cultivo es de 10 semanas en hidroponía (FAO (2007), citado por Mamani 2011).

Vásquez y Villavicencio (2008) señalan que el ciclo productivo, varían de acuerdo al clima y variedad, entre 80 y 90 días, por otro lado también se realiza la cosecha a los 75 días, preferentemente en horas del día, cuando los rayos solares no son muy fuertes.

El ciclo productivo, puedes ser de 70 días en verano desde la siembra hasta 150 días en invierno (Giaconi y Escaff 2004).

## 2.13. Rendimiento

Maroto (1989), citado por Mora (2008) da a conocer que se registran rendimientos del cultivo de la lechuga, bajo invernadero en el sistema de trasplante, de 30000 a 40000 kg/ha.

El rendimiento es la unidad de medida entre la producción de la lechugas y la superficie, la unidad de medida más utilizada es t/ha, donde un mayor rendimiento indica una mejor asimilación de nutrientes, clima, agua u otras características en el sistema re-circulante NFT bajo invernadero (Granados 2007).

Mora (2001) indica que el cultivo de la lechuga se desarrolla en el suelo y por medio del trasplante, incrementando sus niveles de productivos a 4 kg/m<sup>2</sup>.

**Cuadro 4. Comparación de rendimiento de lechugas geopónico e hidroponía**

	Geoponía	Hidroponía
Lechugas/m <sup>2</sup>	6-8	20-30
Lechugas/ha	60.000-80.000	250.000-300.000
Docenas/ha	5.000-6.666	20.833-25.000

Fuente: Alvarado *et al.* (2001)

## **2.14. Hidroponía**

Resh (2001) indica que la denominación de cultivos hidropónicos fue dado por el Dr. W.F. Gericke quien dijo que la palabra “hidropónico” procede de las letras griegas *hydro* (agua) y *ponos* (trabajo), literalmente trabajo en agua, los cultivos hidropónicos o hidroponía puede ser definido como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo “cultivo sin suelo” aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales que necesita la planta para su desarrollo.

La hidroponía en términos estrictos, es una técnica que permite producir plantas sin emplear suelo (UNAM (2007), citado por Ninancuro y Tantri 2007).

El sistema de cultivo hidropónico es moderno y técnicamente la más avanzada del mundo, para producir vegetales, es el que menos daña el medio ambiente y contribuye a la sustentabilidad de los recursos naturales, de esta forma conservando los suelos, aportando alimentos vegetales frescos a todos los habitantes (Arévalo (2005), citado por Garzón 2006).

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

Estrada (2003), citado por Barrios (2005) señala que existe ventajas y desventajas.

### **2.15.1. Ventajas**

- Permite obtener cultivos más homogéneos y de forma especial.
- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos, esto reduce el uso de desinfectantes, ya que son mucho más cuestionados y prohibidos.
- Menor consumo de agua y mayor es la reutilización.
- Los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente y en menor proporción.
- Mayor cantidad y calidad de los cultivos en menos espacio.
- Admite la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción.
- La producción es intensiva, permite obtener un mayor número de cosechas al año.
- No existe rotación de cultivos
- El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controlan más fácilmente, que en los cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.

- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.

### 2.15.2. Desventajas

- El costo elevado de la infraestructura e instalación inicial, que configura el sistema.
- La contaminación de drenajes cuando se riega con aguas de mala calidad.
- El costo de la instalación y la energía necesaria.
- Elevado consumo de energía eléctrica en épocas de invierno.
- Se requiere mano de obra calificada para las diferentes etapas en el proceso de producción.
- Riesgo a la salud humana por el manejo y la aplicación inadecuada de agroquímicos.

Alvarado *et al.* (2001), mencionan que entre las desventajas también se puede señalar:

- El desconocimiento del manejo hortícola y de la técnica. El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo (siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc.) que del conocimiento de la técnica en sí.

**Cuadro 5. Hidroponía ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional.**

Detalles	Cultivo en tierra	Cultivo en hidropónico
Número de plantas	➤ Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y la disponibilidad de la luz.	➤ Limitado por la iluminación; así es posible una mayor densidad de plantas iguales, lo que resultada en mayor cosecha por unidad de superficie.
Preparación del suelo	➤ Barbecho, rastreo, surco.	➤ No existe preparación del suelo.
Control de malas hierbas	➤ Gasto en el uso de herbicidas y labores culturales	➤ No existe y por lo tanto no hay gasto al respecto.
Enfermedades y paracitos del suelo	➤ Gran número de enfermedades del suelo por nematodos, insectos y otros	➤ Existe la menor cantidad de enfermedades pues prácticamente no hay insectos u otros animales en el

	organismos que podrían dañar la cosecha	medio del cultivo. Tampoco hay enfermedades en las raíces.
	➤ Es necesario de la rotación de cultivos para evitar daños	➤ No se precisa la rotación de cultivos.
Agua	➤ Las plantas se ven sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua-suelo, a la estructura del mismo y a una capacidad de retención baja.	➤ No existe stress hídrico; se puede automatizar en forma muy eficiente mediante un detector de humedad y control automático de riego.
	➤ Las aguas salinas no pueden ser utilizadas, y el uso del agua es poco eficiente tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo	➤ Se puede emplear agua con un contenido relativamente alto de sales, y el apropiado empleo del agua reduce las pérdidas por evaporación y se evita la percolación.
Fertilizantes	➤ Se aplica al voleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución y presentando además considerables pérdidas por lavado, la cual alcanza en ocasiones desde un 50 a un 80%.	➤ Se utiliza en pequeñas cantidades, y al estar distribuidos uniformemente (disueltos), permiten una absorción homogénea por las raíces; además existe poca pérdida por lavado.
Nutrientes	➤ Muy variable; pueden aparecer deficiencias localizadas. A veces los nutrientes no son utilizados por las plantas debido a una mala estructura del terreno o a un pH inadecuado, del cual hay dificultad para muestreo y ajuste.	➤ Hay un control completo y estable de nutrientes para todas las plantas, fácilmente disponible en las cantidades precisas. Además hay un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes.
Desbalance de nutrientes	➤ Una deficiencia nutricional o el efecto toxico de algunos elementos en exceso puede	➤ Este problema se soluciona en unos cuantos días.

	durar meses o años	
Calidad del fruto	➤ A menudo existe deficiencia de calcio y potasio, lo que da lugar a una escasa conservación.	➤ El fruto es firme, con una capacidad de conservación que permite a los agricultores a cosechar la fruta madura y enviarla, a zonas distantes bajo técnicas hidropónicas.
Esterilización del medio	➤ Vapor, fumigantes químicos, trabajo intensivo, proceso largo al menos dos o tres semanas.	➤ Vapor fumigantes químicos con algunos de los sistemas. Con otros se emplea simplemente Ácido Clorhídrico o Hipoclorito Cálcico. El tiempo para la esterilización es corto.
Costos de producción	➤ Uso de mano de obra, fertilizantes, fungicida, insecticidas, preparación del suelo, etc.	➤ Todas las labores pueden automatizarse, con la consiguiente reducción de gastos.
		➤ No se usan además implementos agrícolas. En resumen: ahorro de tiempo y dinero en estos aspectos.
Sustratos	➤ Tierra	➤ Posibilidad de emplear diversos sustratos de reducidos costos, así como materiales de desechos.
Mano de obra	➤ Necesariamente se debe contar con conocimientos, o asesoría	➤ No se necesita, a pequeña escala, mano de obra calificada

Fuente: Alvarado *et al.* (2001)

## 2.16. Sistema NFT (*Nutrient Film Technique*) o re-circulante

Es una técnica de cultivo en agua, las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de una tubo de plástico, a través de esto circula continuamente la solución de nutrientes. El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops Research Institute, en Littlehampton (Inglaterra), en 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), que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario. Otros trabajos (Schippers 1997) llamo a esta técnica “técnica del flujo de nutrientes”, puesto que la solución de nutrientes circula de forma continua (Resh 2006).

González (2008), citado por Brenes y Jiménez (2014) señalan que la técnica hidropónica, de cultivo con flujo laminar de nutrientes, conocida como NFT, traducida en español significa “Técnica de la Película Nutriente”, tiene su origen en Inglaterra. Durante la década de los años sesenta, se desarrolló este sistema para aumentar la productividad, en el sector de producción hidropónica, donde este método se modifica. En la Universidad de la Molina, en Perú se utiliza tubos de PVC con perforaciones, donde se colocan las plantas de lechuga.

La circulación continua de la solución Nutritiva por el sistema NFT, da función a la lámina de agua: evitando que la solución nutritiva este lejos de la raíz y por la cual favorece la aireación (Noguera 1993).

Ibarra (2015) destaca que NFT es un sistema de cultivo en agua, donde la solución nutritiva circula continuamente por una serie de canales de cultivo donde se desarrollan las raíces de las plantas, por el canal, con una ligera pendiente de 0.5 - 10%, donde recorre un película o lamina conteniendo la SN, luego esta retorna al tanque, este flujo continuo permite que tengan una buena oxigenación y un adecuado suministro de nutrientes para las plantas.

El sistema NFT se basa en flujo permanente de una pequeña cantidad de solución a través de caños de los que el cultivo toma para su nutrición. Está catalogado como de elevado costo, requiere del suministro de un volumen de agua constante y por ello se gasta energía en el proceso de bombeo (Gilsanz 2007).

## **2.17. Componentes para el sistema NFT**

### **2.17.1. Tanque recolector**

INCAP (2006) afirma que tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del periodo del cultivo, por lo mismo el tanque debe ser de un material plástico y no así de metal, también la capacidad de almacenamiento de la solución nutritiva, el volumen del tanque, está en función directamente con el número de plantas, especie a cultivar.

Almacena la solución nutritiva y es necesario que esté protegido de la radiación solar, para evitar el desarrollo de algas (Gutiérrez *et al.* 2009).

### **2.17.2. Red de distribución**

INCAP (2006) mencionan que solución nutritiva proporciona y distribuye, a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma, desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales del cultivo.

### **2.17.3. Canales de tubo PVC para la lechuga**

INCAP (2006) recomiendan y mencionan que son de igual importancia, donde permite que la solución nutritiva, pase en forma expedita a través de ellos, que la superficie de los canales, sea lisa para facilitar el rápido desplazamiento de la SN por el cultivo.

Permite el paso de la solución de nutrientes y se recomienda que sea de PVC, ya que presenta algunas ventajas (Gutiérrez *et al.* 2009).

### **2.17.4. Electrobomba**

Según INCAP (2006) mencionan que su función de la electrobomba es de impulsar permanentemente la solución nutritiva, desde el tanque colector hasta la parte alta de los canales del cultivo.

### **2.17.5. Tubería colectora**

INCAP (2006) señalan que la tubería recoge y lleva de retorno hacia el tanque, de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad oxigenándose. Además esta tubería se encuentra en pendiente descendente, hacia el tanque colector.

## **2.18. Calidad del agua**

Malca (2001), citado por Barrios (2004) menciona que el agua en hidroponía debe ser potable de buena calidad y con bajos contenido de cloro, el cual en concentraciones altas causa complicación en toxicidad a las plantas, mediante el agua se proporciona a las plantas de la solución.

La calidad del agua es de gran importancia en los cultivos hidropónicos, el agua con un contenido de cloruro sódico de 50 ppm mayor no es aconsejable, para poder obtener un desarrollo óptimo de las plantas, conforme más elevados sean la dicha mención, el desarrollo o el crecimiento de las plantas van disminuyendo, muriendo (Resh 2001).

Oasisfloral (2015) da a conocer que todas las fuentes de agua naturales contienen algunas impurezas, algunas son benéficas para el crecimiento de las plantas y otras son perjudiciales, se debe hacer un análisis químico del agua que se vaya a usar como fuente para evitar posibles problemas nutricionales. El análisis debe contemplar cuando menos:

- Sólidos totales (idealmente no debe sobrepasar los 250 ppm, si el valor es de 3000 ppm no deberá usarse).
- Cloruros (si los sólidos totales exceden los 50 ppm).
- Dureza (para ajustar los niveles de calcio y magnesio en la solución nutritiva).
- Metales pesados (deben estar libres de sulfuro y cloruros ya que en ciertas cantidades son tóxicos para las plantas).

### **2.19. Solución nutritiva (SN)**

Steiner (1961) afirma que la SN consta de agua con oxígeno y de todos los nutrientes esenciales, están en forma iónica y algún otro micronutriente, que puede estar presente.

Es esencial que la solución nutritiva tenga la proporción adecuada y necesaria, para que las plantas absorban los nutrientes, para no tener exceso o déficit en el cultivo y que pudiera afectar la producción. Sin embargo, la nutrición debe tomarse en cuenta desde el punto de vista de aspecto técnico y económico, para poder obtener un máximo rendimiento, la SN debe cubrir sus requerimientos nutricionales, evitando la deficiencia o el consumo en exceso de la planta, de la misma forma no absorbe nutrientes en la misma cantidad durante el ciclo, van variando según la etapa fenológica y las condiciones climáticas, el equilibrio iónico de la SN se adapta al ritmo de absorción de la planta (Rincón (1997), citados por Favela *et al.* 2006 ).

Según Hidroponia Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si le das cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad no solo en sabor y textura.

Oasisfloral (2015) destaca que la nutrición de las planta en hidroponía, se brinda a través de una solución nutritiva balanceada y equilibrada que se formula a partir de un análisis de agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales, esto varía dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta.

## 2.20. Macronutrientes y micronutrientes

Para un desarrollo adecuado las plantas necesitan de 16 elementos esenciales y las cuales son: macronutrientes (Hidrógeno, Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Calcio, Fosforo, Magnesio, Potasio y Azufre) y los micronutrientes (Cloro, Zinc, Boro, Hierro, Cobre, Manganeso, Molibdeno) (Guntaue 2015).

SAGARPA (2015) menciona que el conjunto de sales inorgánicas (fertilizantes) disueltas en agua de riego, que da a una solución nutritiva, asimilable y en proporciones asimilables adecuadas, de elementos nutritivos requeridos por la planta, como son: Nitrógeno (N), Potasio (K), Calcio (Ca), Fosforo (P), Azufre (S), Magnesio (Mg), Fierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl).

Izquierdo (2013) señala y afirma que son 16 elementos que están considerados como esenciales para el desarrollo y crecimiento de las hortalizas, esto se dividen en macronutrientes, requeridos en grandes cantidades y los micronutrientes en menor cantidad.

**Cuadro 6. Macro y micronutrientes para la nutrición de las plantas**

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno (N)	Fierro (Fe)
Fosforo (P)	Cloro (Cl)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)
Azufre (S)	Boro (B)
Calcio (Ca)	Cobre (Cu)
Magnesio (Mg)	Zinc (Zn)
Carbono (C)	Molibdeno (Mo)
Hidrógeno (H)	
Oxígeno (O)	

Fuente: Izquierdo, (2013)

## 2.21. Requerimientos nutricionales de la lechuga.

Resh (2013) menciona que los requerimientos nutricionales con el programa de requerimientos nutricionales HydroBuddy v.1.50 indican que los nutrientes a utilizar son:

### Cuadro 7. Requerimiento nutricional para el cultivo de la lechuga en hidroponía

Requerido	Nutrientes (ppm)											
	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo
Valor	165	50	210	45	190	113	4	0,1	0,5	0,5	0,1	0,05

Fuente: Howard Resh, (2013)

Resh (2013) también indica que existe un requerimiento del programa HydroBuddy v.1.50 para su formulación.

### Cuadro 8. Requerimiento nutricional para el cultivo de la lechuga en hidroponía

Requerido	Nutrientes (ppm)											
	N	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo
Valor	165	50	210	45	190	65	4	0,1	0,5	0,5	0,1	0,05

Fuente: Howard Resh, (2013).

#### 2.22. Altura de la lámina de la solución nutritiva

Sistema NFT (2010) señala que lámina fina de solución nutritiva, permite la oxigenación de la raíz, el aporte de agua y sales nutritivas, durante todo el periodo de cultivo.

Esta lámina no debería sobre pasar una altura superior a los 4 a 5 mm, para el logro y mantención de la lámina de SN o re-circulante, es recomendable ajustar en aproximadamente 2 litros por minuto, este caudal permite que las plantas tengan una adecuada oxigenación, agua y nutrientes (INCAP 2006).

Gutiérrez *et al.* (2009) recomiendan manejar un flujo laminar de la solución nutritiva entre 2 a 3 L/min.

#### 2.23. Temperatura del agua

Tapia (2009) menciona que la temperatura de la solución nutritiva, que en condiciones óptimas y favorables es de 18 - 24°C.

Es muy importante que la temperatura de la solución nutritiva para la mayoría de los cultivos sea ideal la planta detendrá su crecimiento, manifestara deficiencias nutrimentales de manera general, por la cual no debe bajar de 13°C ni estar sobre 30°C, esto varía dependiendo del cultivo por ejemplo la lechuga crece mejor en temperaturas más bajas (Smithers Oasis 2015).

UNALM (2010) recomienda que la temperatura optima e ideal de la solución nutritiva debe ser 18 - 20°C.

La solución nutritiva en su temperatura tiene relación directa con 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. A temperaturas mayores de 22°C el oxígeno disuelto en la SN comienza a disminuir, es necesario la utilización de bombas de aire para compensar esta pérdida (HydroEnvironment 2015).

#### 2.24. Potencial de hidrogeniones (pH)

UNALM (2010) recomienda que el pH óptimo para la lechuga es 6 - 6.5, también el cambio de la solución nutritiva debe realizarse en cada 15 días. Debe cuidarse que el pH no baje demasiado por que puede afectar el crecimiento de las raíces y la planta.

La nutrición de las plantas en su rango optimo es de 6.2 a 6.6 es aceptable (UNALM 2011).

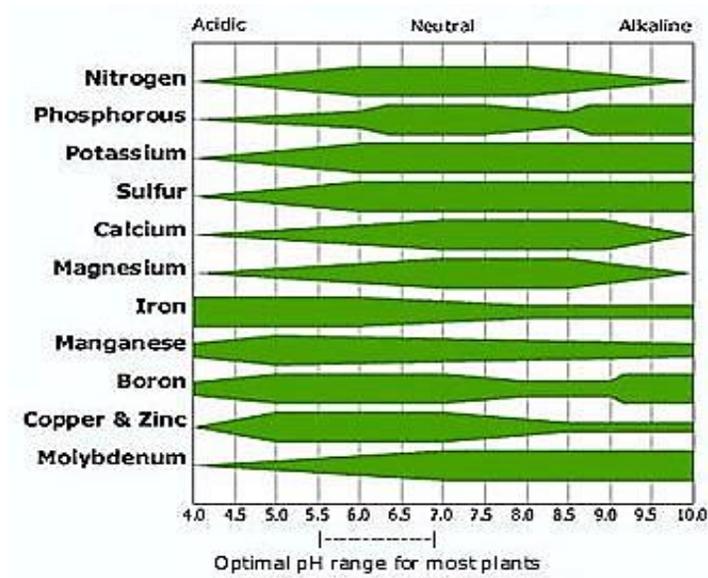


Figura 6. El mapa de la disponibilidad del nutriente en la planta (La solución hidropónica 2015)

#### 2.25. Conductividad eléctrica (C.E.)

Chang *et al.* (2000) citado por Licea (2012), indica que la conductividad eléctrica contiene sales en la solución nutritiva. El rango óptimo para el crecimiento del cultivo, se encuentra

entre 1.5 a 2.5 mS/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post-almacigo y trasplante definitivo.

Es una medida directa de cuantificar la concentración de aniones (nitratos, fosfatos, sulfatos, etc.) o cationes (potasio, calcio, magnesio); en otras palabras, es una medida aproximada de saber si se está aplicando, la cantidad suficiente de nutrientes en la solución nutritiva, y si nuestro cultivo lo está asimilando (Smithers 2015).

Alpizar (2006) menciona que la conductividad eléctrica, es una unidad de medida de contenido sales disueltas en la solución nutritiva, para poder ser absorbidas por las raíces de la planta, donde el rango optimo es de 1.5 y 2.5 mS/cm, se puede medir con un instrumento llamado “conductímetro”.

### **2.26. Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

Alpizar *et al.* (2006), citado por Lacarra y García (2011) mencionan que la falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismo, como hongos y bacterias; una raíz sana y bien oxigenada es de color blanquecino, si esta se torna oscura es debido a la muerte de los tejidos radiculares, la oxigenación puede ser manual o con una bomba de aire sumergible en base a las necesidades del cultivo.

La falta de oxigenación produce fermentación y como resultado la pudrición de las raíces originada por la aparición de microorganismos, la oxigenación se realiza batiendo el agua periódicamente o adicionando un oxigenador (Aguirre *et al.* 2011).

### **2.27. Duración y cambio de la solución nutritiva**

Aguirre *et al.* (2011) mencionan que normalmente la solución puede mantenerse de 2 a 3 semanas, sin embargo, se recomienda adicionar una cantidad equivalente de la solución nutritiva en las últimas 2 semanas, caso contrario el volumen y peso de las lechugas será menor.

### **2.28. Cosecha**

FAO (2007) indica que la cosecha se realiza cuando las hojas alcanzan de 10 a 15 centímetros de altura. Esto ocurre en 2 meses y medio en hidroponía, la cosecha se

utiliza, un cuchillo y cortando desde la base, de esta forma se desprende de la raíz y quedando las hojas para el consumo.

A nivel nacional en Bolivia la cosecha fue de 1.223 ha, con una producción de 1.0799 tm y un rendimiento de 8.8 t ha<sup>-1</sup>, el año agrícola 2008 - 2011, superficie cultivadas de 4.22%. El consumo per cápita de hortalizas es de 57 kg/personas/año; pero según el ministerio de salud indica que el consumo de la lechuga debería ser de 18 g diarios, para tener una dieta balanceada, pero lamentablemente es 0,6 a 1,2 g el consumo nacional (INE 2012).

Cabría *et al.* (2000) indican que la cosecha es cortar al ras de la raíz dejando una porción del tallo y es necesario que se dejen algunas hojas exteriores para que protejan, la parte comestible y comercial, después de 60 días máximo esto depende del tipo y variedad.

## 2.29. Plagas y enfermedades

Gutiérrez (2015) menciona que las más habituales son las plagas, así se tiene:

### a) Plagas

- **Pulgones (*Myzus persicae*)**, plaga sistemática de este cultivo, provoca daños directos y es vector de enfermedades viroticas. Las especies de pulgones atacan son: *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Narsonavi ribisnigri*.
- **Trips (*Frankiniella occidentalis*)**, provoca daños directos por destrucción de los tejidos tiernos pero las más graves son los daños indirectos por transmisión de virus, principalmente del virus bronceado del tomate (TSWV).  
El control lucha Biológico: se lo conoce como insecto del género Orius y ácaros del grupo de los fitoseidos.  
Con medios Físicos: mallas para evitar su entrada en los invernaderos. Mallas antitrips (11 x 22 hilos por cm<sup>2</sup>).
- **Orugas (*Spodoptera littoralis*, *Spodoptera exigua* y *Heliothis spp.*)**, estas larvas de lepidópteros se alimentan de las hojas, atacando en grupo las hojas respetando la epidermis superior de las mismas. Control de lucha biológica con: *Basillus Thuringiensis*.

- **Minadores (*Liriomyza trifolii* y *Liryomyza huidobrensis*)**, tienen una gran actividad fitófaga, ocasionando un gran número de galerías foliares y graves daños cuando se presentan.
- **Mosca Blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)**, en determinadas circunstancias el cultivo en invernadero aparecen focos de esta plaga deteriorando el producto. Control biológico: *Nesiodocoris*.
- **Gusano de Alambre (*Agriotes lineatus*)**, el daño lo causan las larvas, mordisqueando la zona enterrada del cuello llegando a estrangular las plantas jóvenes. En los adultos perforan el sistema radicular.
- **Caracoles y Babosas**, el periodo de riesgo mayor, lo constituye las primeras etapas de desarrollo de la escasa superficie foliar disponible.
- **Nematodos (*Meloidogyne*)**, aparece cuando se cultiva reiteradamente el cultivo de la lechuga en la misma parcela. Clavan el estilete en las jóvenes raicillas y absorben los nutrientes originando nódulos hipertrofiados y las típicas agallas en las raíces.

Las principales plagas que atacan a la lechuga destacan: pulgones, larvas minadoras; eventualmente puede ocurrir un ataque de trips, favorecido por el hábito de crecimiento foliar, envolvente, ofreciendo buen refugio a dichos insectos, ocasiona leves lesiones en las coronas que constituye la puerta de entrada de infecciones secundarias, que se manifiestan durante el forzado, ocasionalmente se desarrollan larvas de moscas que dejan una huella plateada, esto se produce cuando hay lesiones y exceso de humedad (Giacconi y Escaff, 2012).

#### **b) Enfermedades**

- **Mildium (*Bremia lactucae*)**, la enfermedad va ligada a las condiciones de temperaturas y humedades elevadas, los ataques más importantes aparecen en otoño y primavera. Atacan desde la plántula hasta la fase adulta, cuando el ataque es muy intenso puede afectar al cogollo, llegando a provocar la muerte,

la presencia de este parasito siempre reduce la calidad y el rendimiento, cultivar en lo posible variedades resistentes.

- **Botrytis (*Botrytis cinerae*)**, es un hongo polífago que se desarrolla en cualquier especie hortícola y en cualquier edad de la planta, el síntoma es multitud de esporas, favorecen su desarrollo las altas humedades y temperaturas de 5 a 18°C.
- **Sclerotina o podredumbre del cuello (*Sclerotinia sclerotiorum*)**, aunque pueden atacar a plantas jóvenes, es a partir de la exesa humedad que existe en las plantas detienen su desarrollo, amarillean y se marchitan y al arrancarlas no ofrecen resistencia por encontrarse el cuello totalmente descompuesto.
- **Enfermedades Bacterianas**, la bacteria más común es la conocida como *Pseudomonas cichorii*. Su desarrollo está muy influenciado por la humedad sobre las hojas, si es abundante y prolongada, y por la temperatura, la infección aparece, distinguiéndose por unas manchas alargadas y oscuras en el nervio principal de las hojas.
- **Virus del bronceado del tomate o TSWV**, en la calidad es la mayor problema del cultivo de la lechuga, el trips *Frankliniella occidentales* (ya descrito) es el principal vector de este virus, cuando la planta se infecta aparecen pequeñas manchas necróticas, extendiéndose hasta dañar gran parte de la hoja. Esta necrosis se va extendiendo por la planta debilitándola y en un gran porcentaje acaban por morir, como tratamiento se recomienda el control del vector.

FAO (2002) señala que las principales enfermedades que afectan a la lechuga son: *Bremia*, mildio de la lechuga que ataca a las hojas recubriéndolas de un micelio blanco que ataca por pudrir las completamente. Existen algunos cultivares muy resistentes a varias razas de *Bremia*. *Botrytis* que produce una podredumbre gris de las hojas. Se pueden combatir con fungicidas como iprodiona, vinclozolina, etc. *Sclerotinia*, cuya infección procede del suelo. El micelio blanco ataca al tallo, después la plantas se

marchitan y mueren rápidamente, estas tres enfermedades se debe generalmente a la humedad, por lo tanto para evitarlas debe hacerse una buena aireación del invernadero.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los predios del Centro Experimental de Kallutaca, de la Universidad Pública de El Alto, ubicado a 20 km al sur este de la ciudad de La Paz, en la provincia Los Andes, municipio de Laja, encontrándose en posiciones geográficas, entre los paralelos de  $16^{\circ}31'26''$  de latitud sur y  $68^{\circ}18'31''$  de longitud oeste elevación de 3906 m.s.n.m. (WGS 84).



Figura 7. Ubicación de la investigación en el centro experimental de Kallutaca (Google Earth 2015)

## **3.2. Características edafoclimáticas**

### **3.2.1. Clima**

En el Centro Experimental se presentó los siguientes datos en cuanto a clima se refiere las precipitaciones anuales llegan a los 667mm, el promedio máxima fue de 911 mm y la mínima en promedio fue de 404 mm, la humedad relativa está por los 40.0%, donde la temperatura pueden llegar hasta una máxima de 15.7°C, y mínima de -2.8°C, esto es dependiendo a la estación en la que uno se encuentre, y la precipitación anual para la zona es de 613.1mm (ZONISIG 1998).

### **3.2.2. Suelo**

La textura del área del Centro Experimental es de suelos francos arcillosos, de formación fluvio-lacustre con una característica de bofedales y pastoreo (ZONISIG 1998).

### **3.2.3. Flora**

Debido a las características del suelo y clima, se adaptaron en están condiciones favorables para estas especies, en los medios altiplanos varias especies de la familia gramínea son de mayor predominancia como: la Paja brava o Ichu (*Stipa ichu*), Chilligua (*Festuca dolichopilla*) y Cebadilla (*Bromus sp*), asociados con la Cola del ratón (*Hordedum muticum*), entre la familia leguminosae, Layu layu (*Trifolium amabile*), Garbancillo (*Astragalus sp*), entre la familia cyperaceae Pastos totora (*Carex sp*), entre la familia Chenopodiaceae Wari kauchi (*Atriplex nitrophyloides*), entre la familia rosaceae la Kailla (*Tetraglochin cristatum*), entre la familia malvaceae la Q'óra qora (*Tarasa tenella*) de acuerdo a zonificación de vegetación que realizó (ZONISIG 1998).

## **3.3. Materiales**

### **3.3.1. Material vegetal**

El material vegetal que se utilizó fue semilla de lechuga (*Lactuca sativa L*), de 4 variedades:

- ✓ Mantecosa
- ✓ Grand Rapids TBR
- ✓ Red Boston
- ✓ Grand Rapids Waldmann's Green

### **3.3.2. Material de campo**

- ✓ Tanque
- ✓ Tubos de PVC, 4 pul
- ✓ Micro-tubos
- ✓ Bomba de agua o electrobomba
- ✓ Tapones de PVC, 4 pul
- ✓ Flexómetro
- ✓ Regla
- ✓ Tubos de 1 pul
- ✓ Codos
- ✓ Pegamento PVC
- ✓ Teflón
- ✓ Cuaderno de campo
- ✓ Peachimetro
- ✓ Medidor Conductividad Eléctrica
- ✓ Termohidrometro
- ✓ Luxómetro
- ✓ Lija
- ✓ Poliestireno expandido (plastaforma) de 2 cm de espesor
- ✓ Poliestireno expandido (plastaforma) de 1.5 cm de espesor

### **3.3.3. Material y equipos de gabinete**

- ✓ Computadora
- ✓ Cámara fotográfica digital
- ✓ Balanza digital
- ✓ Calculadora
- ✓ Impresora
- ✓ Lápices
- ✓ Marcadores
- ✓ Regla
- ✓ Tablero de registro

### **3.3.4. Insumos**

- ✓ Nitrato de calcio
- ✓ Sulfato de magnesio
- ✓ Nitrato de potasio
- ✓ Cloruro de potasio
- ✓ Green plant
- ✓ Fertrilon combi 1

### **3.3.5. Otros**

- ✓ Canastillas de cosecha
- ✓ Nylon para el empaque de la lechuga

## **3.4. Metodología**

### **3.4.1. Desarrollo del ensayo**

#### **3.4.1.1. Nivelación del suelo**

Se realizó la limpieza y el nivelado del suelo para que el sistema esté bien instalado y firme. Para una buena homogeneidad, se desmalezo, sacando todas las malezas que son perjudiciales, de esta forma se acondicionó el lugar para la investigación.

#### **3.4.1.2. Análisis físico-químico del agua**

Se tomó una botella de 2 litros de agua para su análisis físico-químico en el Instituto Boliviano de Ciencias y Tecnología Nuclear (IBTEN), para poder obtener el pH y la CE, necesaria para su uso en el sistema hidropónico, donde este análisis favoreció la preparación de la solución nutritiva, el cual se usó para el desarrollo del cultivo (Anexo, Foto 1).

#### **3.4.1.3. Instalación del sistema NFT**

Seguidamente se realizó la instalación de todos los implementos con los materiales en el invernadero o carpa solar:

**1<sup>er</sup> Paso:** la estructura del sistema NFT, fue de madera con listones, donde el armado y la instalación de los tubos, fue de forma triangular (Piramidal), este tuvo las medidas de altura 1.85 m x 1.85 m, de ancho 1.22 m, y de largo tiene 7.60 m (Anexo, Foto 2).

**2<sup>do</sup> Paso:** se realizó la marcación para los cortes por la mitad con la amoladora, en los tubos de 4 pulg y 4 m de largo, para unir y tener un tubo de 8 m de largo obteniendo 12 barras en total para el experimento (Anexo, Foto 3).

**3<sup>er</sup> Paso:** seguidamente se empezó con la marcación de la pirámide para la pendiente, para su fácil recorrido de la solución nutritiva, en todos los canales del tubo PVC y llegar al tanque de recolección y nuevamente realizar el mismo procedimiento.

Se realizó la instalación de los tubos cortados, con el pegamento de PVC mas los tapones, a cada extremo del tubo ya perforados, por la parte superior para el micro-tubo; las distancias de tubo a tubo fue de 0.30 m, de esta forma se obtuvo 6 canales de tubos PVC por lado, dando así nos dio un total de 12 canales de PVC (Anexo, Foto 4).

**4<sup>to</sup> Paso:** el tanque se instaló al nivel del suelo, con una profundidad de 1 m, para ello se escavo el suelo, con la finalidad de mantener la solución nutritiva a temperaturas ideales para el cultivo.

**5<sup>to</sup> Paso:** posteriormente se realizó la instalación de la red de distribución; es decir, los tubos de PVC y micro-tubos de riego, para la circulación de la solución nutritiva, las 24 horas del día en toda la infraestructura.

La bomba de agua eléctrica utilizada fue de 1 HP de potencia, que facilitó la expulsión de la solución nutritiva, en todas las redes y canales de PVC, del experimento en sistema hidropónico.

**6<sup>to</sup> Paso:** seguidamente se empezó a la instalación de los tubos corrugados, en la salida de los canales de los tubos PVC, para el retorno de la solución nutritiva al tanque, dando así la recirculación de la solución nutritiva, en todo el sistema NFT, para el buen desarrollo del cultivo.

**7<sup>to</sup> Paso:** se realizó el preparado de las bandejas flotantes, para los almácigos en un contenedor de madera, para ello estuvo totalmente forrado, con un plástico esto para evitar que la solución nutritiva no filtre (Anexo, foto 5).

**8<sup>vo</sup> Paso:** para finalizar se hizo cortes en los plastaformas (Poliestireno expandido), para los almácigos y el primer trasplante, donde se realizó los alveolos, con un fierro candente para los hoyuelos, con diferentes distancias según las etapas de crecimiento. En la primera fase, la distancia de los huecos es de 5 cm de planta a planta y para el segundo trasplante las distancias fueron de 10 x 10 cm.

Consecutivamente se realizó los cortes de plastaformo con medidas de 20 cm con la mitad de los alveolos o huecos para el sistema NFT, para que cumplan la función de sostener a la planta en todo el desarrollo hasta la culminación.

#### **3.4.1.4. Instrumentos en uso**

Los instrumentos que se usaron para las mediciones y control de la solución nutritiva son: pH, conductivímetro, temperatura. Para el control de ambiente dentro del invernadero, se usaron el luxómetro, termómetro e hidrómetro, donde los registros se realizaron por las mañanas durante toda la duración de la investigación (Anexo, Fotos del 6 al 10).

#### **3.4.1.5. Proceso de germinación en la cámara germinadora**

Una vez instalado el sistema de NFT, se empezó a realizar la siembra de la lechuga en poliestireno expandido (Plastaformo) de 96 alveolos con una distancia de 5 x 5 cm, Por cada alveolo se colocó fibra sintética y 1 semilla de cada una de las 4 variedades. Luego se aplicó riego a todas las bandejas que se utilizó, luego se colocó dentro de una cámara germinadora hecho de agrofílm, humedeciendo por 5 días, donde este empezó a germinar, apareciendo las primeras hojas embrionarias o cotiledones (Anexo, Fotos del 11 al 13).

#### **3.4.1.6. Preparación de la solución nutritiva**

Una vez obtenido los datos del análisis de agua por el laboratorio de IBTEN, estos se introducen al programa de *HydroBuddy v. 1.5*, software, donde el cálculo fue para los 600 litros para el consumo de la planta, así mismo los nutrientes, donde fueron en cantidades pequeñas. De esta forma se calculó la solución nutritiva, para el cultivo de la lechuga. La preparación de solución nutritiva estuvo realizada con fertilizantes pesados en gramos. Las cuales fueron: nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de potasio, cloruro de potasio, Green plant, Fertrilon combi 1. Luego esto se diluye en botellas cada nutriente individualmente, terminado esto se echó al tanque recolector cada una de una las

concentraciones obtenidas, luego se removió con un tubo de PVC hasta obtener una homogeneidad. Tomando en cuenta que el cambio de la solución nutritiva fue cada 15 días hasta la cosecha del cultivo (Anexo, fotos del 14 al 16).

#### **3.4.1.7. Almacigo de la lechuga en bandejas**

Una vez pasado los 5 días desde la siembra y que aparecieron los cotiledones, se trasladó a las bandejas flotantes o contenedores de madera, con medidas de 40 x 60 x 15 cm, donde estuvieron por 10 días con solución nutritiva, esto para que los plantines puedan adaptarse. Por 3 días estuvieron con semi-sombra, pasando los días establecidos se procedió a retirar la semi-sombra para que esta pueda desarrollarse con la luz, de esa forma completando su desarrollo por 15 días desde la siembra hasta el almacigo.

La oxigenación durante estas fases, es muy importante para que la planta pueda absorber y asimilar fácilmente la solución nutritiva, realizando la oxigenación manualmente, por 3 veces al día (Anexo, Foto 17).

#### **3.4.1.8. Primer trasplante o post-almacigo de la lechuga**

Seguidamente se realizó el trasplante de las plántulas a otros plastaformos, con medidas de 10 x 10 cm, de distancias entre planta para un mejor desarrollo de los plantines. Donde el material pudo flotar fácilmente, al incorporar a la solución nutritiva de las bandejas flotantes, además de eso permaneció por 15 días, realizándose nuevamente la oxigenación, manualmente durante esta etapa, así de esta forma completando los 30 días (Anexo, Fotos del 18,19).

#### **3.4.1.9. Segundo trasplante o trasplante definitivo al sistema “NFT”**

El trasplante definitivo se realizó a los 30 días de edad de las plántulas, y en horas de la mañana para reducir el estrés, donde se colocó al sistema NFT, para completar la gran mayoría de su desarrollo vegetativo en 45 días, la distancia fue de 20 cm de planta a planta, con una separación de 30 cm de tubo a tubo, trasplantando las cuatro variedades de la investigación. Al momento del trasplante se observó que las raíces estén en contacto directo con la solución nutritiva, durante esta fase se hizo los cambios de SN a cada 15 días hasta la cosecha (Anexo, Fotos del 20 al 22).

#### 3.4.1.10.Cosecha

La cosecha se realizó a los 75 días, desde la siembra de la lechuga; la recolección de las plantas se hizo en horas de la mañana, con la ayuda de un cuchillo, se realizó los cortes en la base de la planta, retirando las hojas secas y dañadas, para luego poderlas embolsar para el consumo humano (Anexo, Fotos del 23 al 26).

#### 3.4.1.11.Control de plagas y enfermedades

Se realizó las observaciones correspondientes en el sistema hidropónico NFT, para verificar la presencia de plagas y enfermedades, donde no se encontró ningún problema, que dañara el desarrollo de del cultivo de las 4 variedades de lechuga; tomando en cuenta que se observó desde la trasplante final hasta la cosecha.

#### 3.4.2. Diseño experimental

El tipo de estudio que se empleó en el diseño experimental DCA (Diseño Complemente al Azar), donde se utilizó 4 variedades de lechugas para el tema de investigación con 6 repeticiones.

La evaluación de estos tratamientos se efectuó bajo un modelo lineal aditivo sugerido por (Ochoa 2009)

Por lo que el modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Una observación cualquiera

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_i$  = Efecto de la i-ésima variedad

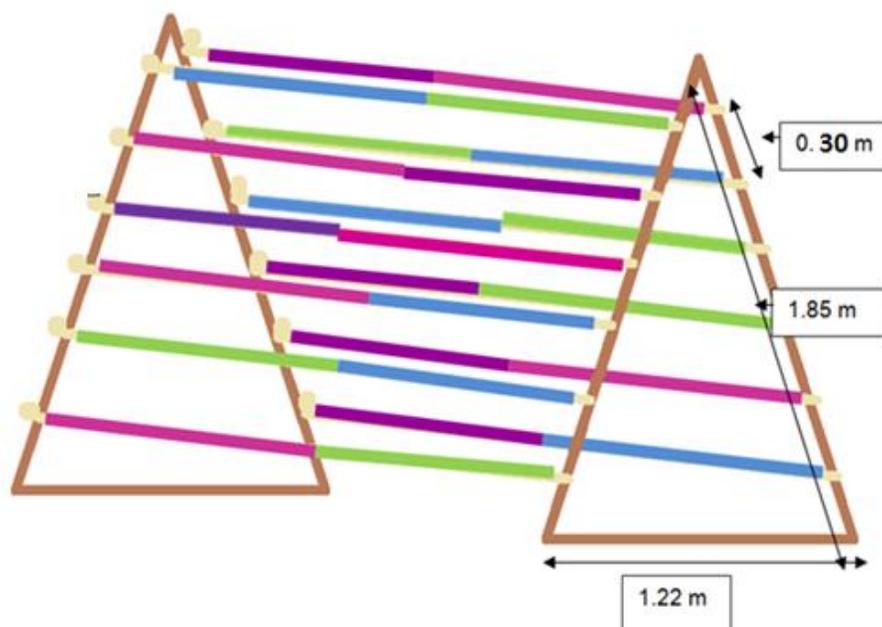
$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

### 3.4.3. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio fueron las 4 variedades:

- $T_A$  = Mantecosa
- $T_B$  = Grand Rapids TBR
- $T_C$  = Red Boston (Testigo)
- $T_D$  = Grand Rapids Waldmann's Green

### 3.4.4. Croquis experimental



$T_A$  = █

$T_C$  = █

$T_B$  = █

$T_D$  = █

Figura 8. Croquis del experimento (Fuente propia)

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

### **3.4.6. Variables agronómicas**

#### **3.4.6.1. Altura de planta (cm)**

Se realizó la evaluación de la altura de la planta en cm, desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja, con la ayuda de un flexómetro, de esta forma se tomó las muestras de cada variedad. Las mediciones se realizaron, desde el trasplante definitivo al sistema “NFT”, a cada 7 días durante todo el desarrollo del cultivo de la lechuga.

#### **3.4.6.2. Número de hojas**

Se cuantificó la cantidad de hojas, con el método no destructivo; es decir al conteo de hojas por cada planta de muestreo, desde las más pequeñas hasta las grandes además, estos se realizaron una vez que las plantas estuvieron en el sistema NFT, por cada 7 días hasta la cosecha.

#### **3.4.6.3. Largo de raíz**

Se evaluó el largo de la raíz, tomando en cuenta una sola muestra de la planta, es decir al inicio y el final en cada tubo, la medición fue realizada con la ayuda de un flexómetro, para poder obtener datos precisos, esto se realizó cada 7 días.

#### **3.4.6.4. Peso de planta (g)**

Se registró el peso de cada planta muestreadas fue al final de la cosecha, con la ayuda de una balanza digital, para obtener datos precisos y registrarse.

#### **3.4.6.5. Peso comercial (g)**

Se procedió a pesar las lechugas en la balanza, retirando las hojas marchitas y dañadas, para la obtención de un peso exacto, para la comercialización del producto final.

#### **3.4.6.6. Ancho de hoja**

Se tomó los datos de ancho de la hoja, con una regla, para que este nos pueda facilitar las mediciones, donde esta evaluación se realizó a partir de la cosecha, de todas las plantas muestreadas.

#### **3.4.6.7. Largo de hoja**

Con una regla se procedió a medir, desde el peciolo de la hoja hasta el ápice de la hoja, teniendo así la longitud de la hoja de las plantas muestreadas, donde se registró para los datos.

#### **3.4.6.8. Diámetro foliar (cm<sup>2</sup>)**

Se realizó la medición de este variables durante la cosecha de la planta, tomando en cuenta las plantas en evaluación. Se tomó fotografías, a cada planta seleccionada con la ayuda del programa *Cobcal v1.0* software que determino el área foliar.

#### **3.4.6.9. Área de hoja (cm<sup>2</sup>)**

Se tomó fotografías con la ayuda de una cámara celular HD, tomando en cuenta de que cada planta de lechuga se extrae una sola hoja, con la ayuda del programa (*Cobcal v1.0*) software determino el área de la hoja.

#### **3.4.6.10. Rendimiento**

La determinación del rendimiento se realizó pesando cada planta por muestra, de las cuatro variedades de lechuga, producidas en el sistema NFT, después de la cosecha.

#### **3.4.7. Factores climáticos**

La temperatura ambiente y la humedad relativa interna de la carpa, se tomaron registros con el termómetro (T° ambiente) e hidrómetro (HR° ambiente), de máximas (MAX) y mínimas (MIN) marca (EXTECH Instruments), donde los registros se realizaron a las 09:00 am de la mañana durante 45 días.

#### **3.4.8. Intensidad de luz**

También se tomó las mediciones de la luz, dentro de la carpa solar es decir internamente, para ello se utilizó el luxómetro marca (Digital Lux Meter), se registros a horas 10:00 am de la mañana y se realizó durante el desarrollo de la planta en el sistema re-circulante NFT.

### **3.4.9. pH y CE de la solución nutritiva**

Se midió el pH (Potencial de hidrogeniones) y CE (Conductividad eléctrica) de la solución nutritiva, diariamente y periódicamente cada día a horas 08:00 de la mañana, utilizando el medidor de la marca (OAKTON), donde nos facilitó para un buen registro de datos, tomando en cuenta en la fase vegetativo del cultivo.

### **3.4.10. Temperatura de la solución nutritiva**

Las mediciones de la temperatura de la solución nutritiva se realizó, utilizando el medidor marca (OAKTON), y por las mañanas a horas 8:00 am, durante 45 días en el segundo trasplante.

### **3.4.11. Análisis económico**

Se empleó el método de evaluación económica propuesto por CIMMYT (1988) tasa de retorno marginal, donde indica el uso presupuesto parcial, se determina la relación Costos/Beneficios de los tratamientos, un ingreso mayor a los gastos nos reporta beneficio en la producción, que en la relación B/C corresponderá a un número mayor a 1.

#### **3.4.11.1. Relación beneficio/neto y beneficio/costo**

El análisis económico se realiza, calculando costos totales de producción e ingreso totales tras la venta del producto, se realiza la relación Beneficio/costo propuesta por CIMMYT (1988) un ingreso que sea igual a los gastos nos da un beneficio igual a cero, representándose en la relación B/C como la unidad. Un ingreso mayor a los gastos nos reporta beneficios en la producción, que en la relación B/C corresponderá a un número mayor a uno.

Beneficio/Neto:  $BN = IT - CT$

Dónde:

- BN = Beneficio neto
- IT = Ingreso total
- CT = Costo total

Beneficio/costo:  $B/C = IT/CT$

Dónde:

- IT = Ingreso total
- CT = Costo total

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Variables agronómicas

#### 4.1.1. Altura de la planta (cm)

El análisis de varianza (Cuadro 9), muestran que los resultados obtenidos en el cual, presenta diferencias no significativas a un nivel del 5%, en la prueba de significancia entre variedades; el coeficiente de variación para esta variable es de < 30%, con un valor de 13.61% estando dentro del rango permisible, esto demuestra que los datos obtenidos son confiables durante la investigación. La media general fue de 18.60 cm de altura de planta.

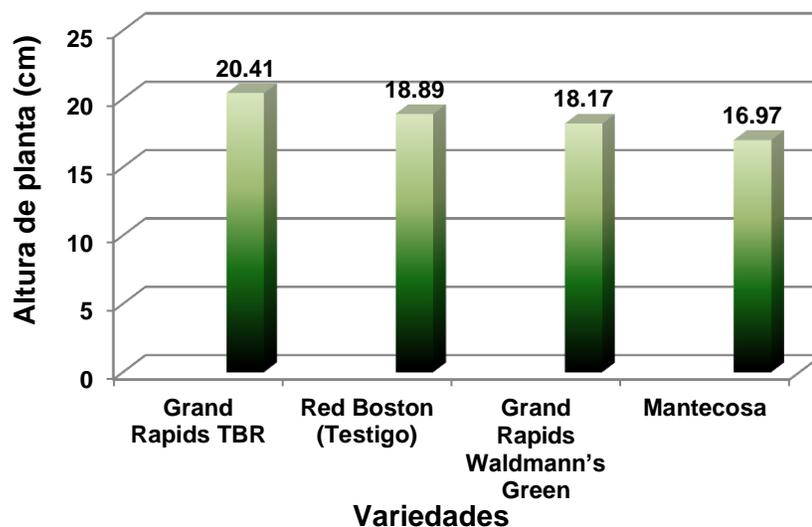
**Cuadro 9. Análisis de varianza para la altura de planta (cm)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	37.33	12.44	1.94	0.15 NS
Error	20	128.39	6.41		
Total	23	165.732			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 13.61%

Media= 18.60 cm



**Figura 9. Medias de la altura de planta (cm) de 4 variedades de lechuga**

En la (Figura 9), la variedad Gran Rapids TBR fue la que mayor valor de altura de planta que obtuvo de 20.41 cm y la variedad Mantecosa con menor altura de 16.97 cm, las variedades Red Boston (testigo) y Grand Rapids Waldmann's Green, son similares en cuanto al promedio general, con 18.89 cm y 18.17 cm.

A diferencias de las cuatro variedades la que más valor obtuvo fue Gran Rapids TBR, como se observa en los resultados, a comparación de los demás tratamientos donde significa, que esta variedad asimiló favorablemente la solución nutritiva suministrada a lo largo de su producción, por otro lado nos muestra que las condiciones climáticas fueron favorables para este tratamiento ya que el desarrollo foliar fue adecuado lo que concuerda con; Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo esto se verá reflejado en la producción, en sabor y textura.

Al respecto Díaz (2009) da a conocer que la altura de la planta, del cultivo de la lechuga es de 15 a 30 cm y con un periodo vegetativo muy corto; por otro lado, Escobar (2003) menciona que es una planta herbácea, que puede alcanzar una altura de unos 25 cm cuando esta no ha iniciado la subida de la flor; en cambio, Zambrano (2014) menciona

que sistemas de producción de la lechuga, en el sistema NFT vertical obtuvo una altura de planta de 29 cm de altura.

#### 4.1.2. Número de hojas

El análisis de varianza para la variable número de hojas (Cuadro 10), no presenta diferencias significativas a un nivel del 5%, entre variedades de lechuga en el sistema NFT, con un coeficiente de variación de 15.82%, que es < 30%; dando a conocer que los datos presentados son de confiables. La media general es de 14.07 cm toda la investigación que se realizó durante el desarrollo del cultivo.

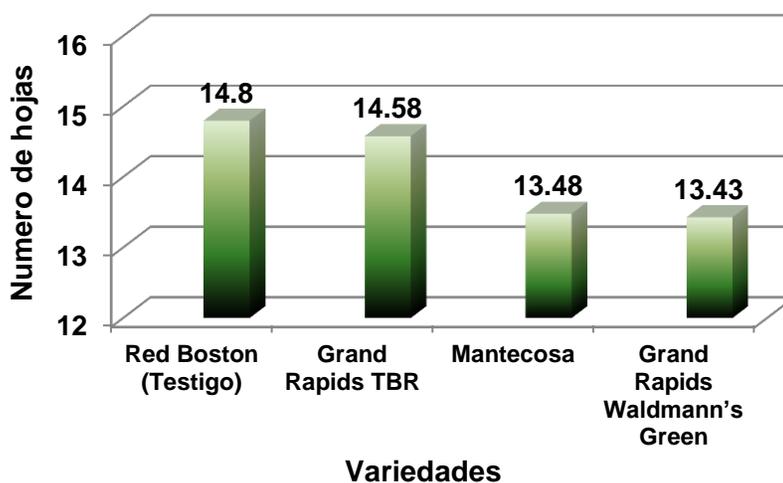
**Cuadro 10. Análisis de varianza de número de hojas**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	9.29	3.09	0.62	0.60 NS
Error	20	99.15	4.95		
Total	23	108.45			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 15.82%

Media= 14.07 hojas/planta



**Figura 10. Medias de número de hojas de las 4 variedades de lechuga**

El promedio de número de hojas observada en las variedades de lechuga (Figura 10) indica que, la variedad más sobresaliente, fue Red Boston (testigo) con un promedio de 14.80 hojas/plantas; por otra parte la Grand Rapids Waldmann's Green que obtuvo el menor número de hojas de 13.43 hojas/planta. En tanto que Grand Rapids TBR obtuvo 14.58 hojas/planta y la variedad Mantecosa con 13.48 hojas/planta.

En la evaluación la variedad de donde obtuvo mayor número de hojas fue Red Boston (testigo), respecto a las demás variedades, como se puede observar, asimiló muy bien la solución nutritiva suministrada en el sistema NFT, obtenido a lo largo del desarrollo del cultivo; según Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se le da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en la producción de alta calidad en sabor y textura.

Al respecto, Zambrano (2014) menciona que se tiene en promedio de números de hojas de 19 hojas/planta, en el sistema de producción de lechuga en NFT.

#### 4.1.3. Largo de la raíz (cm)

El análisis de varianza del largo de la raíz (Cuadro 11), no presenta diferencias significativas a un nivel del 5% entre variedades de lechuga en el sistema NFT. Un coeficiente de variación de 18.96%; nos indica el grado de confianza y permisible de los datos obtenidos a lo largo de la investigación; la media general fue de 22.79 cm de largo de la raíz.

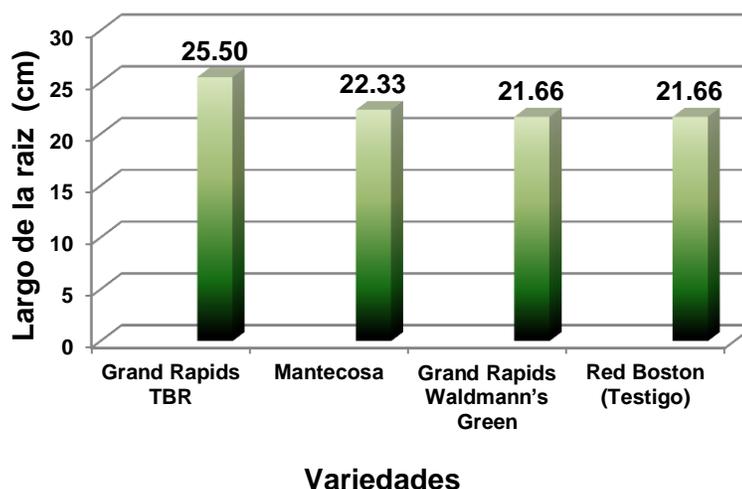
**Cuadro 11. Análisis de varianza largo de la raíz (cm)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	60.45	20.152	1.08	0.38 NS
Error	20	373.50	18.67		
Total	23	433.95			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 18.96 %

Media= 22.79 cm



**Figura 11. Medias de largo de la raíz (cm) de las 4 variedades de lechuga**

El largo de la raíz observada en las diferentes variedades de lechuga (Figura 11), la variedad Grand Rapids TBR, es la que presentó mayor valor con 25.50 cm; sin embargo, Red Boston (testigo), muestra un menor promedio de 21.66 cm; seguidamente las variedades que fueron similares son: la Mantecosa con 22.33 cm y Grand Rapids Waldmann's Green y con un promedio de 21.66 cm de largo de la raíz.

En el largo de la raíz, se observó que la variedades Grand Rapids TBR obtuvo, un promedio mayor a los demás, esto se debe a la disponibilidad de la solución nutritiva, sobre todo la oxigenación; como menciona Hidroponía Mex (2015) donde da a conocer que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, en cantidades suficientes para su perfecto desarrollo esto se verá reflejado en la producción de alta calidad en, sabor y textura.

Donde también Ekonekazaritza (2005) da a conocer, que el sistema radicular es pivotante 20 - 30 cm, espeso y cabelludo; por otra parte Granval y Gaviola (2013) afirman, que la profundidad radicular es de 30 cm; en cambio Palacios (2015) menciona, que la raíz puede alcanzar los 20 cm de profundidad.

#### **4.1.4. Peso de la planta (g)**

El análisis de varianza con respecto al peso de la planta (Cuadro 12), nos muestran que los resultados obtenidos, no presentan diferencias significativas a un nivel del 5%, entre variedades del cultivo de la lechuga en el sistema hidropónico. El coeficiente de variación

es de 27.60% esto es < 30%, estando dentro del rango permisible de confiabilidad de los datos de la investigación, durante el desarrollo del cultivo. La media general llegó a alcanzar el 215.87 g de peso de la planta.

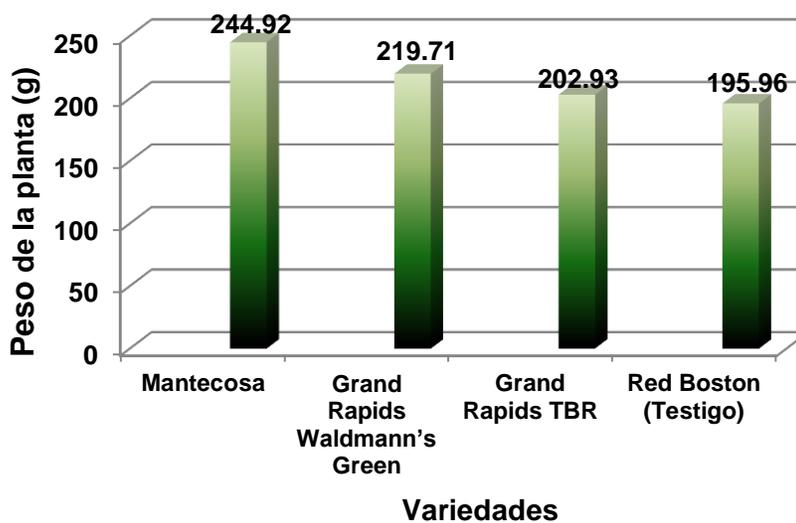
**Cuadro 12. Análisis de varianza peso de la planta (g)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	8534.41	2844.80	0.80	0.50 NS
Error	20	71034.91	3551.74		
Total	23	79569.33			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 27.60%

Media= 215.87 g



**Figura 12. Medias de peso de la planta (g) de las 4 variedades de lechuga**

En la (Figura 12), se aprecia que el más alto en promedio en todas las variedades, fue la variedad Mantecosa con un valor de 244.92; y con un promedio menor, fue la variedad Red Boston (testigo) con 195.96 g. Las variedades Grand Rapids Waldmann's Green obtuvieron un valor de 219.71 g y la Grand Rapids TBR 202.93 g, obteniendo la casi similitud entre las dos.

La variedad Mantecosa presentó un valor superior a los demás, esto se debe a la disponibilidad de la solución nutritiva, sobre todo; la oxigenación y la condiciones climáticas favorables, a lo largo de las evaluaciones que se realizaron; al respecto, Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta del cultivo en hidroponía, que por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad, en el sabor y en la textura.

#### 4.1.5. Peso comercial (g)

Realizado el análisis de varianza del peso comercial (Cuadro 13), no presenta diferencias significativas a un nivel 5%, entre variedades de lechuga en el sistema hidropónico NFT, con una media general de 195.54 g.

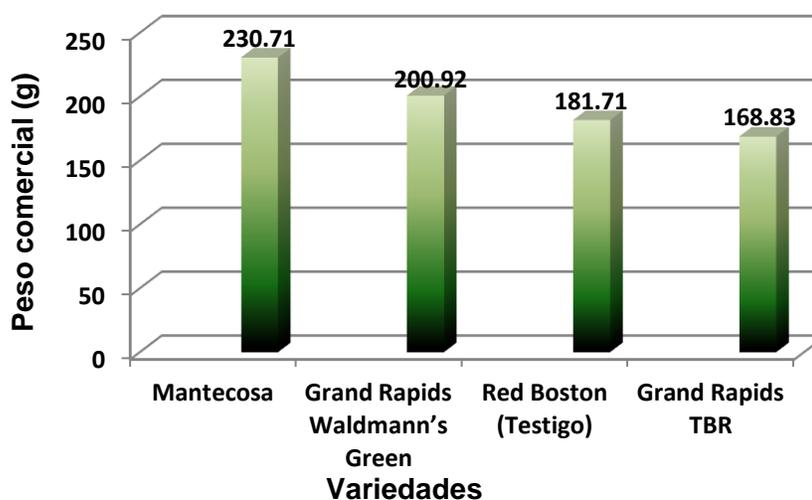
**Cuadro 13. Análisis de varianza peso comercial (g)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	13021.68	4340.56	1.23	0.32 NS
Error	20	70493.52	3524.67		
Total	23	83515.20			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 30.36%

Media= 195.54 g



**Figura 13. Medias del peso de la planta (g) de las 4 variedades de lechuga**

Se observa que el peso comercial (Figura 13), la variedad Mantecosa presentó un mayor promedio de 230.71 g por la cual el valor más bajo que se obtuvo, fue de la variedad Grand Rapids TBR con 168.83 g; seguidamente, donde las variedades fueron similares: la Grand Rapids Waldmann's Green con 200.92 g, Red Boston (testigo) con un promedio de peso de 181.71 g, estos factores pueden atribuirse a la cantidad de hojas retiradas de la planta por el daño o marchites que se presentó, para luego ser pesadas nuevamente para su venta o comercialización.

Donde esta variedad Mantecosa fue la que asimiló muy bien la solución nutritiva, sobre todo la oxigenación y la condiciones climáticas favorable que presentó a lo largo de esta evaluación; al respecto Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se le da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad en sabor y textura.

#### 4.1.6. Ancho de hoja (cm)

El análisis de varianza del ancho de hoja (Cuadro 14), a un nivel de 5%, no presenta diferencias significancia entre variedades en el diseño planteado, también, se puede observar que el coeficiente de variación presentó un valor de 18.14%, encontrándose por debajo del < 30%, valor que está dentro del margen permisible y confiable de los datos. La media general 13.08 cm de ancho de hoja.

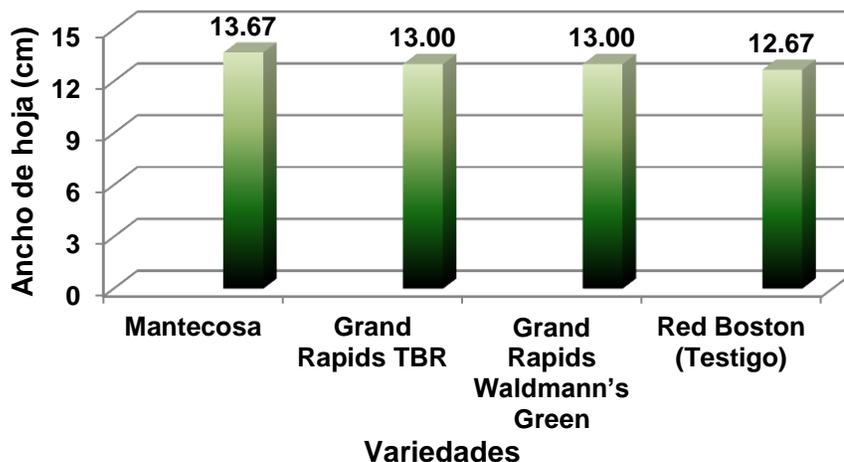
**Cuadro 14. Análisis de varianza ancho de hoja (cm)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	3.16	1.05	0.19	0.90 NS
Error	20	112.66	5.63		
Total	23	115.83			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 18.14%

Media= 13.08 cm



**Figura 14. Medias del ancho de hoja (cm) de las 4 variedades de lechuga**

Los promedios del ancho de hoja muestran claramente que las variedades (Figura 14), donde; se puede observar que la variedad, con mayor promedio de ancho de hoja, fue Mantecosa con un valor de 13.67 cm, y con promedios bajos está Red Boston (testigo) con 12.67 cm; similares promedios, obtuvieron Grand Rapids TBR 13.00 cm y Grand Rapids Waldmann's Green con 13.00 cm de ancho de hoja.

La solución nutritiva realizada para el desarrollo de las variedades. La variedad Mantecosa, tuvo el mayor valor respecto a los demás por la cual esta variedad, es la que más se destacó en el ancho de hoja, por lo tanto, esta variedad fue la que mejor asimiló los nutrientes y se adaptó a las condiciones climáticas en el invernadero; según Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad en sabor y textura.

Al respecto Zambrano (2014) menciona que en el sistema NFT vertical, se obtuvo un promedio de 11 cm de ancho de hoja en el sistema de producción de lechuga. En el sistema NFT Horizontal fue de 13 cm de ancho de hoja.

#### **4.1.7. Largo de hoja (cm)**

El análisis de varianza de largo de la hoja (Cuadro 15), diferencias no significativas a un nivel de 5% entre las variedades de lechuga y un coeficiente de variación de 7.92%, la

cual está dentro del rango permitido < 30%, que viene a ser confiable y recomendable. La media general es de 20.41 cm de largo de la hoja de las cuatro variedades.

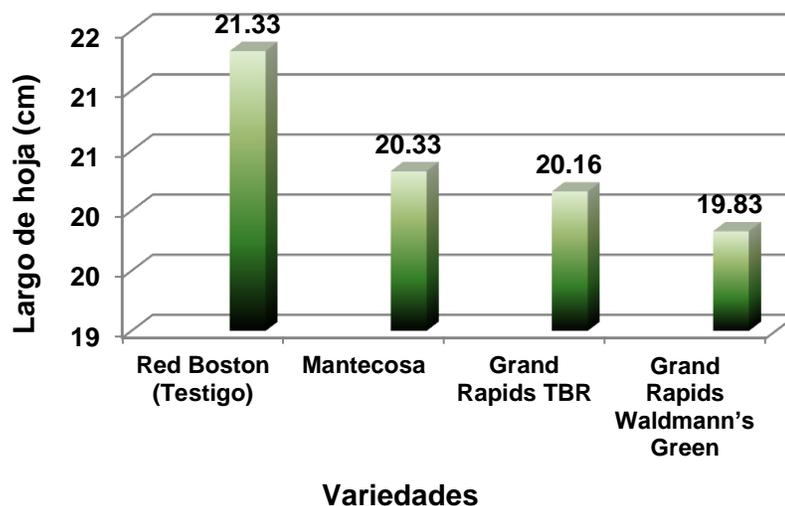
**Cuadro 15. Análisis de varianza largo de hoja (cm)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	7.50	2.50	0.96	0.43 NS
Error	20	52.33	2.61		
Total	23	59.83			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 7.92%

Media= 20.41 cm



**Figura 15. Medias de largo de la hoja (cm) de las 4 variedades de lechuga**

Los resultados obtenidos (Figura 15), no existe diferencias significativas entre variedades, de largo de hoja en promedios generales, donde la más sobresaliente en sistema hidropónico fueron; Red Boston (testigo) con un 21.33 cm, en tanto que Grand Rapids Waldmann's Green, presenta un promedio menor de largo de hoja 19.83 cm. Así mismo, fueron, casi similares, las variedades Mantecosa y Grand Rapids TBR, con promedios de 20.33 y 20.16 cm, en los promedios generales del diseño.

Se puede observar que la variedad Red Boston (testigo) fue la que obtuvo mayor largo de hoja valor con relación a los demás, donde la solución nutritiva; fue aprovechada y sobre todo que las condiciones climáticas, fueron favorables para la variedad y sobre todo en su desarrollo del cultivo; por lo cual, Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica, por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad en, sabor y textura, donde el promedio llega a sobre pasar los datos que mencionan según los autores citados.

Al respecto Zambrano (2014) obtuvo una longitud de hoja en el sistema NFT vertical un valor de 16 - 18 cm; por otro lado, Quispe (2012) menciona que obtuvo un promedio de longitud de hoja por 16.04 cm.

#### 4.1.8. Diámetro foliar (cm<sup>2</sup>)

En el (Cuadro 16), que los resultados obtenidos por el análisis de varianza, presenta diferencias no significativas en el diámetro foliar a un nivel del 5%, entre las variedades de lechuga, también; mencionar que la media general es de 552.74 cm<sup>2</sup>, en diámetro foliar.

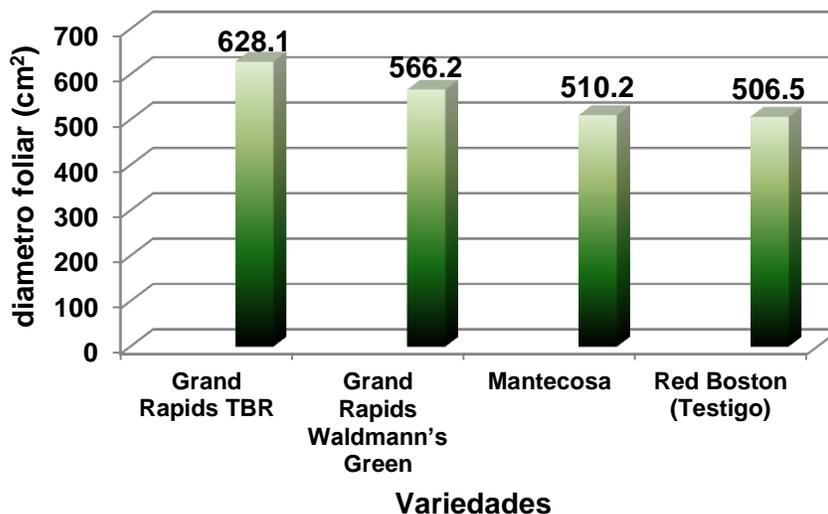
**Cuadro 16. Análisis de varianza de diámetro foliar (cm<sup>2</sup>)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	58895.82	19631.94	0.20	0.89 NS
Error	20	1960552.06	98027.60		
Total	23	2019447.88			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 56.63%

Media= 552.74 cm<sup>2</sup>



**Figura 16. Medias de diámetro foliar (cm<sup>2</sup>) de las 4 variedades de lechuga**

El análisis de varianza para diámetro foliar (Figura 16), muestra que la variedad más sobresaliente en el sistema hidropónico y con mayor valor fue, la Grand Rapids TBR 628.1 cm<sup>2</sup>, y con el dato inferior fue Red Boston (Testigo) con 506.5 cm<sup>2</sup>. A continuación las demás variedades, que obtuvieron valores similares es la Grand Rapids Waldmann's Green 566.2 cm<sup>2</sup>, y la variedad Mantecosa con el valor de 510.2 cm<sup>2</sup>.

Se puede observar que la variedad con mayor valor fue Grand Rapids TBR, que se comportó muy bien en este sistema NFT, por la cual la solución nutritiva fue asimilada favorablemente, y las condiciones climáticas muy bien aprovechadas, por la planta para su desarrollo; por otra parte, Hidroponía Mex (2015), menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad no solo en sabor y textura.

Según Quispe (2012) menciona que la lechuga obtuvo un valor de 2652,6 cm<sup>2</sup> en promedio, esto en área foliar, por la mayor concentración de nutrientes disponibles especialmente el nitrógeno que ayuda al crecimiento planta.

#### **4.1.9. Área de la hoja (cm<sup>2</sup>)**

A partir del análisis de varianza (Cuadro 17), presentó diferencias no significativas en el área de la hoja a un nivel del 5% entre las variedades, donde la media general es de 552.74 cm<sup>2</sup> de área de hoja.

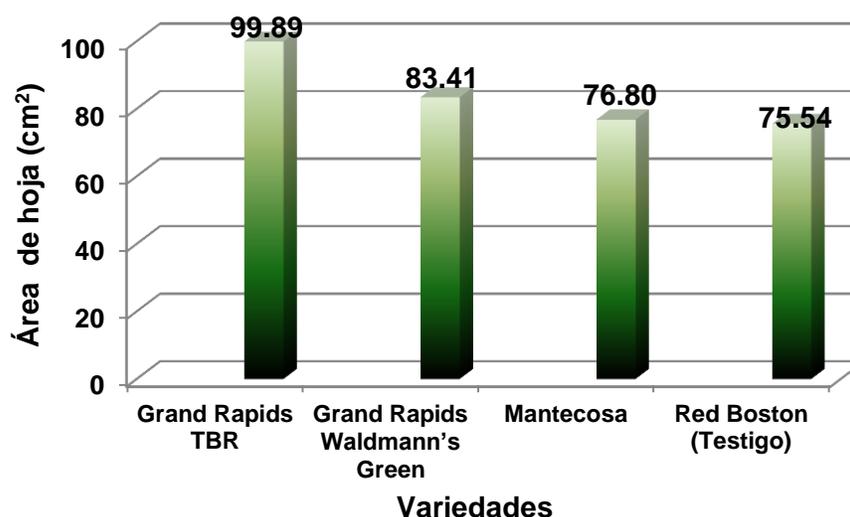
**Cuadro 17. Análisis de varianza de área de hoja (cm<sup>2</sup>)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	2257.15	752.38	0.35	0.78 NS
Error	20	42986.85	2149.34		
Total	23	45244.01			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 55.25%

Media= 83.90 cm<sup>2</sup>

**Figura 17. Medias de área de hoja (cm<sup>2</sup>) de las 4 variedades de lechuga.**

Los resultados obtenidos a partir del variable de área de la hoja (Figura 17), que la variedad Grand Rapids TBR presentó mayor promedio, con 99.89 cm<sup>2</sup>, a comparación, de Red Boston (testigo) con 75.54 cm<sup>2</sup> donde obtuvo un menor promedio. Sin embargo las variedades Grand Rapids Waldmann's Green de 83.41 cm<sup>2</sup> y la Mantecosa con 76.80 cm<sup>2</sup> fueron casi similares entre ambas.

La variedad Grand Rapids TBR, es la que mayor área de hoja obtuvo, a diferencia de los demás variedades, es la que se comporta muy bien en sistema hidropónico, por otra parte esta diferencia se debe a la disponibilidad, de la solución nutritiva y sobre todo la oxigenación y las condiciones climáticas dentro de la carpa; señala que, Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se da las

cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad en sabor y textura.

#### 4.1.10. Rendimiento (kg/planta)

El análisis de varianza para el rendimiento kg/planta (Cuadro 18), presenta diferencias no significativas a un nivel del 5%, entre variedades del cultivo de la lechuga en el sistema NFT, los resultados que se obtuvieron, donde la media general llegó a alcanzar 0.195 kg en peso de la evaluación.

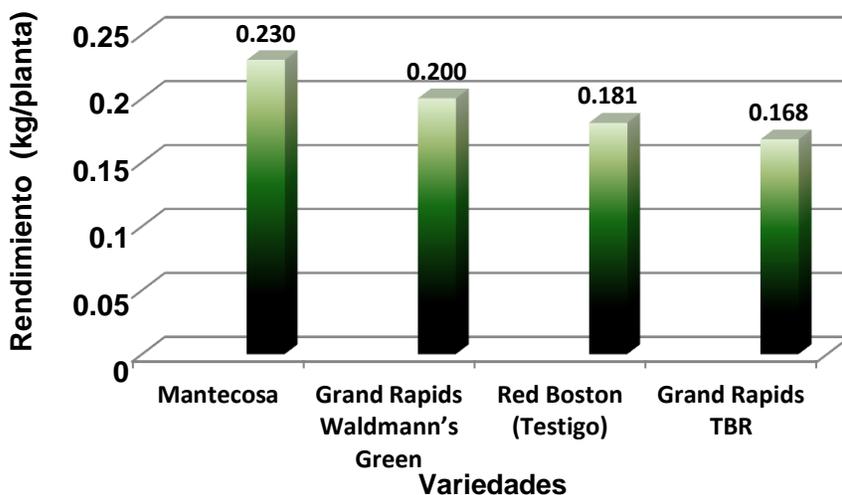
**Cuadro 18. Análisis de varianza de rendimiento (kg/planta)**

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Variedades	3	0.013	0.004	1.23	0.324 NS
Error	20	0.070	0.0035		
Total	23	0.083			

NS= no significativo (0.05)

C.V.= 30.36%

Media= 0.195 kg/planta



**Figura 18. Medias de rendimiento (kg/planta) de las 4 variedades de lechuga**

En la (Figura 18), la variedad con mayor promedio en rendimiento fue; Mantecosa 0.230 kg/planta y la variedad con menor promedio Grand Rapids TBR 0.168 kg/planta. Donde Grand Rapids Waldmann's Green obtuvo un promedio de 0.200 kg/planta seguido de la Red Boston (testigo) 0.181 kg/planta de los demás tratamientos.

Al respecto a los demás la variedad Mantecosa con un mayor valor de media, es la que asimilo muy bien la solución suministrada y la oxigenación, por tanto fue la que mejor se adaptó al clima interna de la carpa; al respecto, Hidroponía Mex (2015) menciona que la planta hidropónica por medio de la solución nutritiva, si se da las cantidades suficientes para su perfecto desarrollo, esto se verá reflejado en los frutos de alta calidad en sabor y textura; por otra parte, Granados (2007) señala que rendimiento es la unidad de medida entre la producción de la lechugas y la superficie, donde un mayor rendimiento indica una mejor asimilación de nutrientes, clima, agua y otras características en el sistema recirculante NFT bajo invernadero.

## 4.2. Factores climáticos

### 4.2.1. Temperatura de máximas y mínimas del invernadero

A continuación se puede observar el resultado climático registrado a partir del trasplante definitivo en el sistema NFT, durante los 45 días de la evaluación del ciclo del cultivo de la lechuga en hidroponía durante la gestión 2013 – 2014.

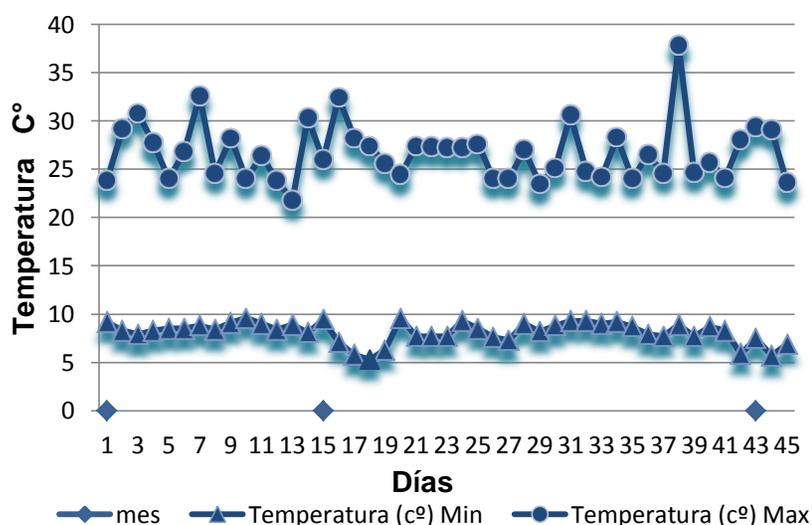


Figura 19. Temperatura interna del invernadero

La temperatura interna del invernadero donde, se realizó el estudio con 4 variedades de lechuga (Figura 19), registrado durante los 45 días cumpliendo el ciclo del cultivo en el sistema hidropónico, donde el promedio de máxima fue de 27°C durante el día y durante la noche se registró un promedio de mínima 8°C.

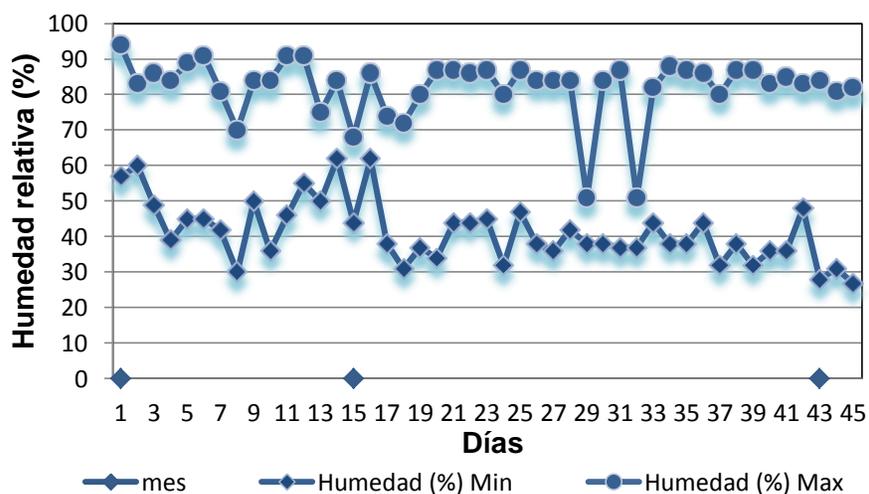
La temperatura ambiental dentro del invernadero, fue de 5.3 - 9.6 °C en mínimas y con 21.8 – 37.8 °C de máximas, que alcanzaron temperaturas altas en días calurosos, donde estos no fueron frecuentes.

La temperatura de la carpa estuvo en los rangos aceptables, para la producción de lechuga, como recomienda Vallejo y Estrada (2004) donde menciona que las temperaturas durante la noche con mínimas de 7 °C; en cambio, Mateo (2005) da a conocer que el cultivo de la lechuga, es poco exigente donde lo ideal es de 5 °C en mínima; por otra parte, Giaconi y Escaffè (2004) recomiendan que las temperaturas sean, de 5 - 12 °C de noche y 17 - 28 °C de día; en cambio, Maocho (2009) menciona que la lechuga soporta temperaturas elevadas como máximas hasta 30°C.

Realizando las comparaciones podemos observar que se obtuvo datos mínimos y altos, donde los promedios generales están dentro del rango permisible mencionados, dando así el desarrollo normal del cultivo en el sistema hidropónico.

#### **4.2.2. Humedad relativa HR del invernadero**

Respecto a la fluctuación HR en el interior del invernadero, fue variado los resultados registrados, de acuerdo a las horas del día y de la noche, evaluado durante los 45 días, desde el momento del trasplante final, hasta la cosecha.



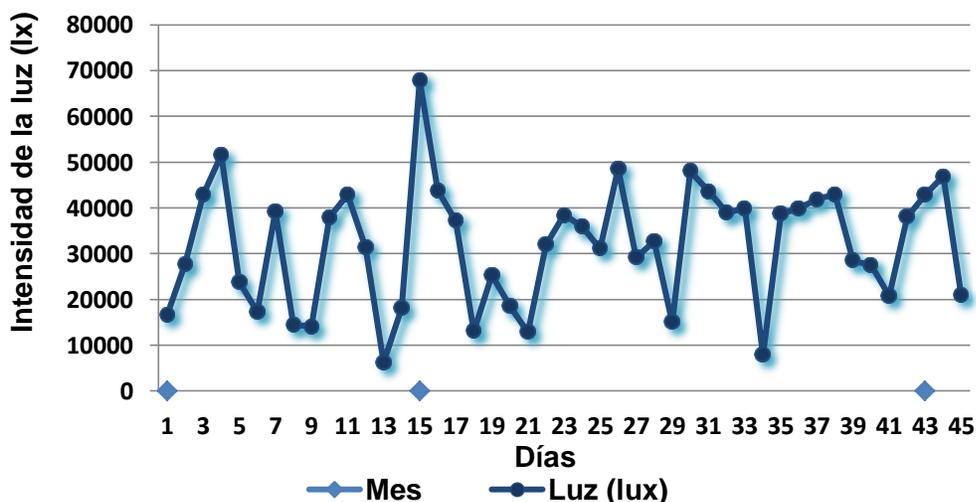
**Figura 20. Humedad relativa dentro del invernadero**

Donde la humedad relativa interna del invernadero (Figura 20), tuvo un promedio de máxima, durante el día de 82% y alcanzó una mínima de 41% durante la noche, cumpliendo el ciclo y el desarrollo de las 4 variedades de lechuga.

El requerimiento de la lechuga en humedad relativa; al respecto, Infoagro (2015) recomienda que el cultivo de la lechuga, pueda tolerar una humedad de 60 al 80%; en cambio, Horticultura Efectiva (2012) menciona que al respecto, en la lechuga debe tratarse de mantener en 60 y 80%; por otra parte, SEDAF (1999) recomienda, un rango, de 60 a 70%. Mientras que el exceso afecta en la calidad y aumenta la incidencia de enfermedades.

#### **4.2.3. Intensidad de la luz**

Los registros obtenidos a partir de la luz dentro del invernadero, registrados durante las mañanas, cumpliendo todo el desarrollo del cultivo hasta la cosecha.



**Figura 21. Intensidad de la luz registrada dentro del invernadero.**

Por la cual la intensidad de la luz emitida dentro del invernadero durante la producción de la lechuga en el sistema NFT (Figura 21), llegó a un promedio general de 31913 lx, cumpliendo todo el desarrollo de las 4 variedades, de la lechuga durante la investigación.

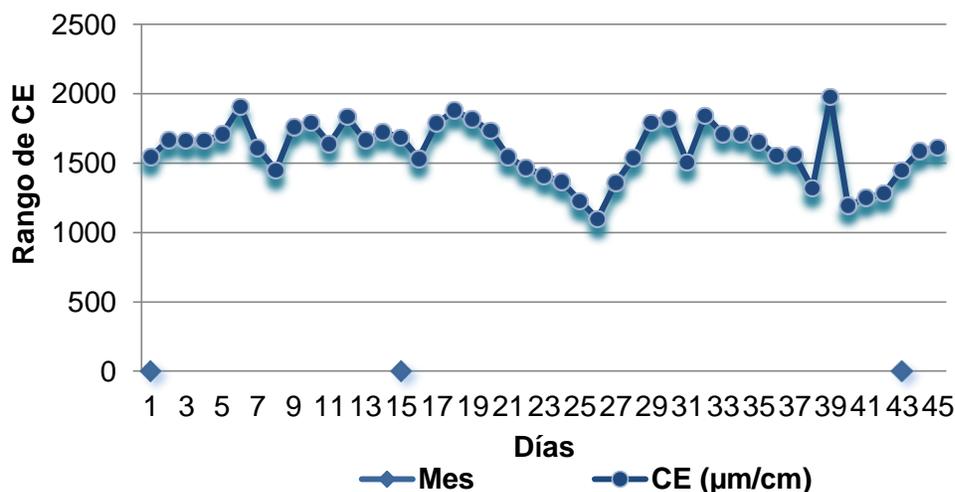
Podemos mencionar que se obtuvo una mínima, de 6300 lx y un máximo de 51600 lx, pero tomando en cuenta que no fue frecuente durante, el desarrollo de la planta de la lechuga.

Hydro Environment (2015) menciona que una buena iluminación, para la lechuga es de 10000 - 40000 lx; al respecto, Méndez (2015) señala, que en condiciones, internas del invernadero, para el cultivo de la lechuga es necesaria, la intensidad de la luminosidad de 5000 a 15000 lx; por otro lado, Serrano (2005) manifiesta que el rango óptimo para el desarrollo del cultivo es de 12000 a 30000 lx.

Los resultados muestran que la intensidad de la luz, obtenida en un promedio general es razonable, para el desarrollo del cultivo, estando en el rango permisible mencionados por los diferentes autores.

#### **4.2.4. Conductividad eléctrica y temperatura de la solución nutritiva**

La evaluación de la conductividad eléctrica para la solución nutritiva, elaborada por el programa Hydrobuddy (2013) para el sistema hidropónico NFT, esto para el trasplante final, se tomaron los datos todos los días, por las mañanas para su resultado.

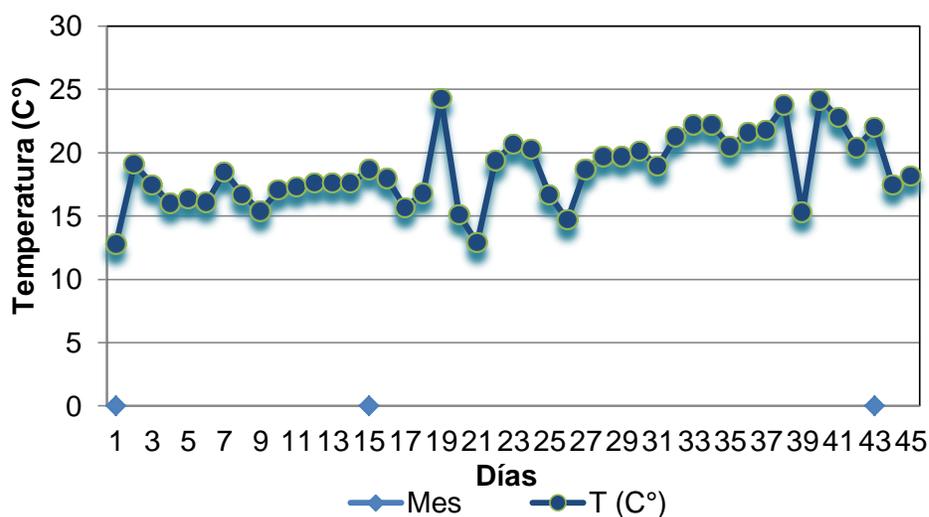


**Figura 22. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.**

En la (Figura 22), que la CE en la solución nutritiva hidropónica, tuvo un promedio general de 1599 mS/cm, a lo largo de su desarrollo. En la cual esto alcanzó una mínima de 1100 mS/cm, donde su máxima fue de 1981 mS/cm.

La conductividad eléctrica estuvo entre los rangos aceptables, dentro de la solución nutritiva para la lechuga como; menciona Chang. *et al* (2000), citado por Licea (2012) señala que el rango óptimo, para el crecimiento del cultivo se encuentra de 1.5 a 2.5 mS/cm. El registro se debe realizar por lo menos una vez por semana en la etapa de trasplante definitivo; donde también Alpizar (2006) encontró similares rangos de CE óptimos de 1.5 y 2.5 mS/m.

Se puede observar que en la conductividad eléctrica, obtuvo desde valores altos y bajos, las cuales no fueron consecutivamente, pero se obtuvo un rango permisible como se menciona, para un buen desarrollo del cultivo de la lechuga en el sistema hidropónico.



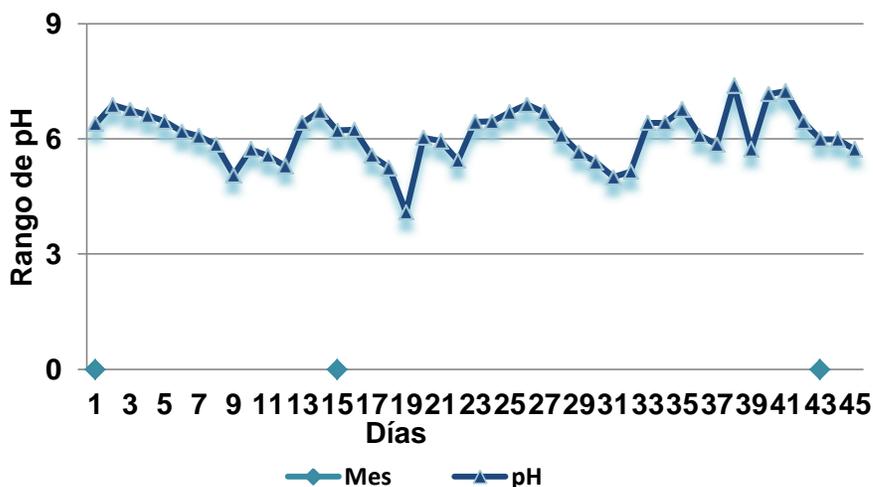
**Figura 23. Temperatura de la solución nutritiva y la CE.**

La temperatura de la solución nutritiva (Figura 23), donde el registro realizado durante cada día, nos da un valor promedio de 19 °C, obtenidas por las mañanas, durante el desarrollo del cultivo en el sistema hidropónico. La mínima llegó a alcanzar 12.8 °C y la máxima alcanzó a 24.3 °C.

La temperatura de la solución nutritiva, está dentro de los rangos permisibles y óptimos para el desarrollo del cultivo como; lo señala, Tapia (2009) donde revela que en condiciones favorables es de 18 - 24°C; al respecto, Smithers (2015) manifiesta que si el cultivo no se encuentra, en temperatura ideales de bajo de los 13 °C y sobre los 30 °C. La planta detendrá su crecimiento; en cambio, UNALM (2010) recomienda que lo ideal en estos casos sea de 18 - 20 °C; donde Hydro Environment (2015) recomienda que la cantidad de oxígeno consumido por la planta es decir, que la temperatura menor a 22°C, el oxígeno es suficiente para abastecer, pero si es menor el oxígeno disuelto en la solución nutritiva, esta disminuirá el desarrollo del cultivo, y es importante realizar la oxigenación de la solución nutritiva.

#### 4.2.5. pH de la solución nutritiva

Los resultados pH de la solución fueron obtenidos a partir de los registros realizados durante la evaluación del cultivo, durante las mañanas.



**Figura 24. pH (Potencial de hidrogeniones) de la solución nutritiva.**

Los resultados de pH en la solución nutritiva (Figura 24), muestra un promedio 6.11, registrados durante las mañanas, desde el segundo trasplante hasta la cosecha, en el sistema hidropónico, también podemos mencionar que la mínima llegó 4.1 de pH y máxima de 7.25 pH.

El rango del pH es permisible como; menciona, UNALM (2010) donde recomienda que el óptimo de pH para la lechuga, sea de 6 - 6.5. Donde el cambio de solución nutritiva se debe realizar a los 15 días, por otro lado es importante el cuidado del pH, si esta bajaría, afectaría de gran manera al cultivo en producción; por otra parte, UNALM (2011) menciona que el rango entre 6.2 - 6.6 es aceptable para la nutrición de la planta.

### 4.3. Análisis económico

#### 4.3.1. Beneficio/costo

Los beneficios encontrados en las 4 variedades, donde el análisis económico del presente estudio, se realizó en base de los presupuestos realizados (Anexo, Foto 27), donde los costos de producción fueron calculados por m<sup>2</sup> en bolivianos, para poder identificar con mayor precisión la variedad con mayor beneficio neto, proporcionar al agricultor de esta manera dar alternativas de producción para el cultivo de la lechuga.

**Cuadro 19. Análisis de beneficio/costo**

COSTOS DE PRODUCCION (Bs.)							
Cultivo	Variedades	Rend. Kg/m <sup>2</sup>	Precio comercial 10,60 Bs/kg	Ingreso bruto	Costos de producción	Beneficio Neto	Beneficio /Costo >1
Lechuga	Mantecosa	26.220	10.60	277.932	55.55	222.382	4.00
	Grand Rapids TBR	19.152	10.60	203.011	56.80	146.211	2.57
	Red Boston (testigo)	20.634	10.60	218.720	54.30	164.420	3.03
	Grand Rapids Waldmann's Green	22.800	10.60	241.68	56.80	184.880	3.25

En el (Cuadro 19), se aprecia que la variedad Mantecosa obtuvo un mayor valor de B/C 4.00 Bs/m<sup>2</sup>, y la variedad Grand Rapids TBR obtuvo un valor menor de 2.57 Bs/m<sup>2</sup>, donde las variedades de Red Boston (testigo) y Grand Rapids Waldmann's Green las cuales obtuvieron por cada unidad monetaria invertida se gana los valores de 3.03 - 3.25 Bs/m<sup>2</sup> siendo estas dos últimas similares.

Desde el punto de vista económico puede apreciarse que el beneficio/costo es mayor a 1 eso quiere decir que la renta es favorable y es aconsejable para el agricultor, la producción de lechugas hidropónicas.

### 4.3.2. Análisis de tasa de retorno marginal

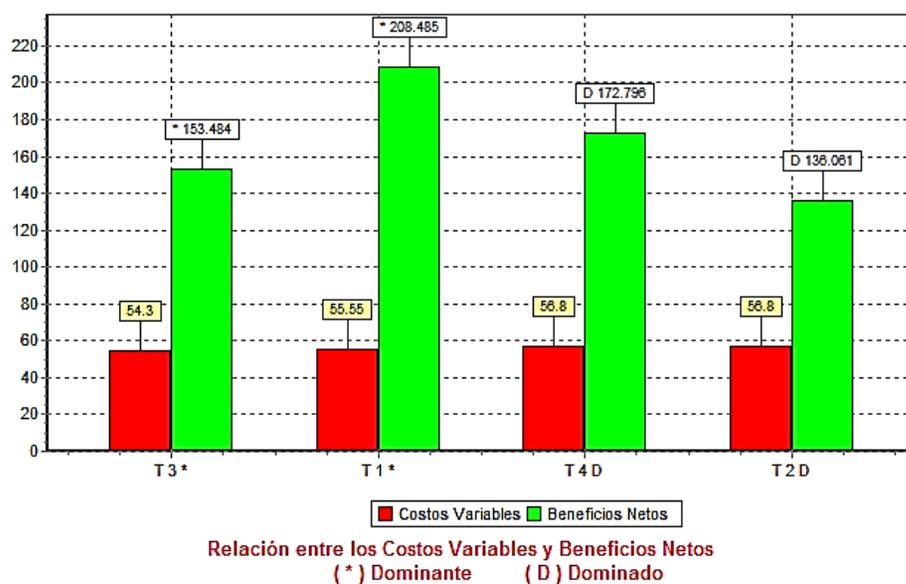
El análisis económico se basa a los presupuestos parciales, de las variedades en evaluación como ser económicamente rentables, con un rendimiento ajustado al 5%, con los costos de producción de parámetros regionales, donde la de Tasa de Retorno Marginal, esto para su mayor precisión en los resultados, de esta manera proporcionando al agricultor alternativas exactas, la cual se realizó el cálculo de  $m^2$  en bolivianos.

**Cuadro 20. Beneficio/Costo parcial del cultivo de la lechuga en variedades.**

Variedades	Rendimiento Ajustado	Beneficio Bruto	Costo Total	Beneficio Neto	B/C Bruto	B/C Neto
Mantecosa	24.908	264.035	55.549	208.485	4.753	3.753
Grand Rapids TBR	18.194	192.860	56.799	136.060	3.395	2.395
Red Boston (testigo)	19.602	207.784	54.299	153.484	3.826	2.826
Grand Rapids Waldmann's Green	21.660	229.596	56.799	172.795	4.042	3.042

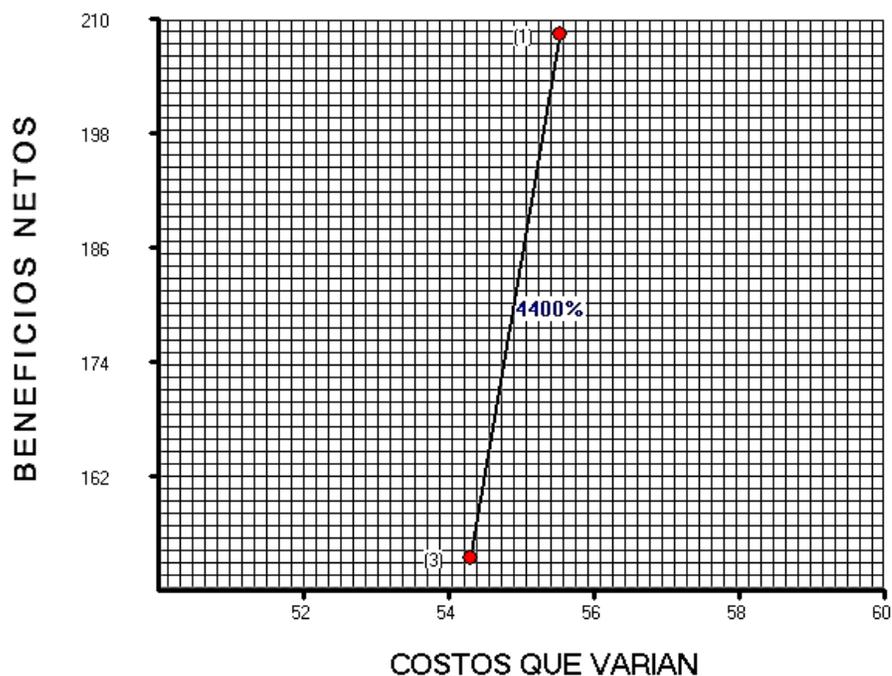
En el (Cuadro 20), beneficio/costo, para las 4 variedades en evaluación, Mantecosa donde por 1 Bs invertido, se recupera 3.753 Bs/ $m^2$ , seguidamente esta Grand Rapids Waldmann's Green de 3.042 Bs/ $m^2$ , y con valores bajos y similares están, Grand Rapids TBR con un valor de 2.395 Bs/ $m^2$ , consecutivamente Red Boston (testigo) con 2.826 Bs/ $m^2$ .

Desde el punto de vista económico, se puede apreciar que la variedad Mantecosa fue de la que más ganancias se obtiene en cuanto economía se trata, y la que obtuvo menor ganancia fue la Grand Rapids TBR. Por otra parte mencionar que en todas las variedades se obtuvo ganancia, pero la cual sobre salió más que las otras.



**Figura 25. Análisis de dominancia de lechugas en el sistema hidropónico.**

El análisis de dominancia (Figura 25), en relación a los costos variables, donde la variedad Grand Rapids Waldmann's Green, es dominado en su beneficio neto con un valor de 172.796 Bs/m<sup>2</sup> a su costo variable de 56.8 Bs, además la Grand Rapids TBR también resulto ser dominado con un beneficio neto de 136.061 Bs/m<sup>2</sup>, con un costo de 56.8 Bs es decir que en estos dos análisis se invierte más y se gana menos. Por otra parte la variedad Red Boston (testigo) nos indica que es dominante 153.484 Bs/m<sup>2</sup> en relación a su costo de 54.3 Bs, así mismo, Mantecosa obtuvo un valor de beneficio neto 208.45 Bs/m<sup>2</sup>, la cual es dominante a 55.55 Bs en su costo variable por la cual nos muestra que se invierte menos y se gana más en la producción de lechugas en el sistema hidropónico NFT.



**Figura 26. La curva de análisis beneficios netos y tasa de retorno marginal (TRM)**

Para el análisis de retorno marginal de los tratamientos se toman en cuenta los resultados que no fueron dominados en relación entre costos variables y Beneficios Netos (Figura 26), se puede observar que la inversión T. 3 (Red Boston (Testigo)) es dominante en la cual el T. 1 (Mantecosa), es la más rentable para el productor donde aumentaría los beneficios netos en un 4.400% por la cual podemos deducir que por cada boliviano invertido se recuperan el boliviano invertido y se gana adicionalmente 4 Bs.- ya que tiene una buena rentabilidad en su producción, en el sistema hidropónico NFT.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación permiten mencionar las siguientes conclusiones:

- El uso de variedades de lechuga resaltan ser similares en la producción, la Grand Rapids TBR con 21.41 cm alcanzo la altura de planta con un mayor promedio que los demás variedades, donde existió buen aporte de solución nutritiva para su asimilación durante su desarrollo del cultivo.
- Las variedades de lechuga en la investigación no presentaron diferencias significativas entre número de hojas, pero la que mayor valor obtuvo fue Red Boston (testigo) con 14.80 hojas/planta, siendo la que mayor cantidad de hojas obtuvo, y la solución nutritiva fue favorable para la planta.
- En largo de la raíz, la variedad que sobre salió fue; la de Grand Rapids TBR con 25.50 cm de largo, donde esta variedad mostró una buena ramificación y la absorción de la solución nutritiva por la cual esta estuvo dentro de rango permitido en respecto a la temperatura y conductividad eléctrica, para su buen desarrollo del cultivo.
- La variedad Mantecosa obtuvo un peso de planta de 244.92 g, donde presenta un valor superior a los demás, esto se debe a la disponibilidad de la solución nutritiva, sobre todo; la oxigenación y condiciones climáticas favorables para el cultivo. El peso comercial que se obtuvo de la variedad Mantecosa presento, un mayor promedio de 230.71 g, este factor pueden atribuirse a la cantidad de hojas retiradas de la planta por el daño o marchites que se presentó, para luego ser pesadas nuevamente para su venta o comercialización.
- Los promedios del ancho de hoja donde la variedad Mantecosa fue la que mayor valor obtuvo con 13.67 cm, esto debido a la buena absorción de la solución nutritiva. En la variable de largo de hoja la más sobresaliente en sistema hidropónico fue; Red Boston (testigo) con un 21.33 cm, siendo esta variedad la que asimilo muy bien la solución nutritiva, temperatura ambiente, y sobre todo la oxigenación adecuada para su desarrollo

- En el diámetro foliar la variedad Grand Rapids TBR, con mayor promedio, 99.89 cm<sup>2</sup>, se comportó muy bien en este sistema NFT, por la cual la solución nutritiva fue asimilada favorablemente, y las condiciones climáticas muy bien aprovechadas, por la planta para su desarrollo. En el área de hoja la variedad Grand Rapids TBR tuvo 628.1 cm<sup>2</sup> por la cobertura foliar.
  
- En las distintas variedades de lechuga crespa que se evaluó, que no presentaron significancia en el rendimiento de las variedades, donde la lechuga Mantecosa con 0.230 kg/planta en promedio fue la que alcanzó un mayor valor, esto debido a la asimilación de la solución suministrada y la oxigenación, por tanto fue la que mejor se adaptó al clima interna de la carpa
  
- Con relación a costo se concluye que todos los tratamientos se encuentran con beneficio/costo B/C > 1, donde nos demuestra que la producción de lechuga es rentable pero a diferencia de ellos la variedad Mantecosa obtuvo un valor de 4.00 Bs, siendo así la más recomendable para el agricultor en incursionar este nuevo método de agricultura.

## 6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se vio oportuno realizar las siguientes recomendaciones y/o sugerencias.

- Este sistema hidropónico NFT, es muy favorable para superficies pequeñas ya que no demanda extensos lugares y el área cultivada es reducida, esto debido a su forma piramidal, donde su producción son más altos que en suelo.
- Se pide realizar el análisis de agua del lugar para su uso, en la solución nutritiva de esta forma aportar y validar la información para el desarrollo del cultivo.
- Se recomienda utilizar semilla certificada para su producción, y previamente realizar pruebas de germinación.
- Se recomienda en utilizar la variedad Mantecosa por la cual, es la que más sobresalió en ganancia de peso comercial de la lechuga, donde la rentabilidad es favorable para su producción, según el análisis económico realizado.
- Difundir este sistema de producción en sistema NFT, a los agricultores para una alternativa frente a los cultivos tradicionales vulnerables a cambios climáticos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, G; Urey, G; Rojas, S; Meneses, R. 2011. Cultivo de lechuga bajo el sistema hidropónico de raíz flotante. Revista de Agricultura, Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias. Código 01. p. 1, 4.
- Alpizar A, L. 2006. Hidroponía cultivo sin tierra: factor conductividad eléctrica (CE). Ed.1<sup>ra</sup>. Cartago, CR. Edit. Tecnología de Costa Rica. p. 78, 79.
- Alvarado D. *et al.*, 2001. Seminario agro negocio lechuga hidropónica. UNAM. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, P. p. 14.
- Barrios Arreaga, NE. 2004. Evaluación del cultivo de la lechuga, *Lactuca sativa L.* bajo condiciones hidropónicas en Pachali, San Juan Sacatepéquez, Guatemala: ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos. Tesis Lic. Ing. Agr. "Universidad de San Carlos de Guatemala". Quetzaltenango, GT. p. 16, 21.
- Barbado, JL. 2005. Hidroponía. Editorial Albatros SACI. Buenos Aries AR. sp.
- Brenes Peralta, L; Jiménez Morales, MF. 2014. Experiencias de producción americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT, tecnología en marcha. *Lettuce (Lactuca sativa) production in a NFT hydroponic system*. Revista VI, Encuentro de Investigacion y Extencion. 58: p. 56, 64.
- Boston Organics. 2014. Lettuce (Red Leaf): Los elementos esenciales, (En línea) consultado el 05 de septiembre del 2014. Disponible en <http://www.bostonorganics.com/lettuce-red-leaf/pr/lettuce-red-leaf>.
- Botanical-online. 2015. Características de Lechuga: Componentes de la Lechuga. (En línea) consultado el 12 de febrero 2015. Disponible [www.botanical-online.com/medicinals-lactucasativa.htm](http://www.botanical-online.com/medicinals-lactucasativa.htm).
- Botanical-online. 2015. Propiedades medicinales de la lechuga: Uso Interno. (En línea) consultado el 27 de marzo 2015. Disponible en [www.botanical-online.com/medicinals-lactucasativa.htm](http://www.botanical-online.com/medicinals-lactucasativa.htm).
- Boston Roja. 2014. Red Boston hydroponic lettuce: Description/Taste. (E línea) consultado el 05 de septiembre del 2014. Disponible en

[http://www.specialtyproduce.com/produce/Red\\_Boston\\_Hydroponic\\_Lettuce\\_7244.php](http://www.specialtyproduce.com/produce/Red_Boston_Hydroponic_Lettuce_7244.php).

- Cásseres, E. 1989. Evaluación del Efecto de la Orina en la Fertilización del Manejo Ecológico de la Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el Municipio de Sorata. Tesis Lic. Ing. Agr. "Universidad Católica Boliviana San Pablo" La Paz, BO. p.23.
- CGUT (Coordinación General de Universidades Tecnológicas). 2001. Sistema de Producción Agrícola: importancia del suelo. Carrillo Duran, O.A. Chapultepec Morales, MX. p. 25.
- CEDAF (Centro para El Desarrollo Agropecuario y Forestal). 1999. Cultivo de Lechuga y el Apio: Requerimientos Climáticos. 1 ed. Guía Técnica N° 34. Santo Domingo, DM. p. 6.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo), 1988. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos, Manual Metodológico de Evaluación Económica D.F. CIMMYT México. p 1, 38.
- Díaz, A. (2009) "optimización de la tecnología de producción de canónigos (*valerianella locusta*) en bandeja flotante". Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela técnica de superior de Ingeniería Agronómica. Cartagena, Colombia, p 6, 9.
- Escobar, H. 2003. Análisis de Costos para Hortalizas Ecológicas: generalidades del cultivo, características de la producción. 1 ed. Bogotá, CO. Edit. Henry Colmenares M. p. 15.
- Ekonekazaritza. 2005. La lechuga manual para su cultivo en agricultura: sistema radicular, ecológica nº3, p.2. (En línea) consultado el 29 de febrero del 2014. Disponible en <http://www.eneek.org/descargas/dteknikoak/LECHUGA.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura IT). 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo: plagas y enfermedades, manual preparado por el grupo de cultivos hortícolas dirección de producción y protección vegetal. Roma, IT. Colección 90. p. 249, 205.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura). 2006. Cultivo de la lechuga: Semilla (En línea). Consultado el 09 de septiembre 2013. Disponible en [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/LEC HUGA.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/LEC HUGA.HTM).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura IT). 2007. Proyecto de micro huertas del Municipio de El Alto: producción de Lechuga Suiza en Micro Huertas. Ficha coleccionable N°10.
- Favela Chávez, E; Preciado Rangel, P; Benavides Mendoza, A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas: Solución Nutritiva. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p. 32, 33.
- Frutas y Hortalizas. 2015. Lechuga: países productores, (En línea) consultado 09 de septiembre del 2014. Disponible en <http://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Origen-produccion-Lechuga.html>.
- FTDA (Fundación para el desarrollo tecnológico agrario de los valles). 2010. Cochabamba, BO.[www.fdto.valle.org](http://www.fdto.valle.org). Evaluación del Efecto de la Orina en la Fertilización del Manejo Ecológico de la Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el Municipio de Sorata. Tesis Lic. Ing. Agr. "Universidad Católica Boliviana San Pablo" La Paz, BO. p. 12.
- García, G. 2012. Alimentos que ayudan a prevenir y combatir enfermedades: lechuga. Numero de control de biblioteca del congreso 2012946854, Edt. Palibrio UU.EE. s.p.
- Garzón López, SS. 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes: Introducción. Trabajo de Graduación Lic. Ing. Agr. Zamorano, HN. Carrera de Ciencias y Producción Agropecuaria. p. 13.
- Gracia Zumel, M. 2013. Cultivos herbáceos intensivos: germinación. Edit. E.T.S.I.I.A.A. de Palencia. Universidad de Valladolid. ES. p. 12
- Galván, G; García, M; Rodríguez, J. 2008. Lechuga cultivos de hoja: fase roseta, (diapositivas). Facultad de Agronomía, UY. 43 diapositivas.

- Galván, G; García, M; Rodríguez, J. 2008. Lechuga cultivos de hoja: fase formación de cabeza, (diapositivas). Facultad de agronomía, UY. 43 diapositivas.
- Gamboa Cruz, A.G. 2013. Lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo diferentes densidades de población y niveles de nutrición orgánica en la Comarca Lagunera: Origen. Tesis Ing. Agr. Ecología. Terreon, Coahuila, MX. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", p. 20.
- Giacconi M, V; Escaff G, M. 2004. Cultivo de Hortalizas: Exigencias, clima, plaga y enfermedades. Editorial Universitaria S.A., Santiago de Chile, CL, ed. Decimoquinta, p. 165, 217, 218.
- Gilsanz, JC. 2007. Hidroponía: sistema NFT (Nutrient Flow Technic). Edit. Unidad y Transferencia de Tecnología. Montevideo, UY. p. 19.
- Google Earth. 2015. Coordenadas geográficas de estación experimental de Kallutaca. (En línea) Consultado 24 de septiembre del 2015, <http://earth.google.com>.
- Gutiérrez Zebadua, SA; Hernández Ramos, JC; Silvano López, PL. 2009. Diseño y Construcción de un Sistema Nutrient Film Technique para la producción de lechugas (*Lactuca spp*): componentes y materiales del sistema NFT, requerimientos del sistema. Chiapas, MX. p. 18, 19.
- Gutiérrez Claramunt, M. 2015. El cultivo de la lechuga en Cantabria: plagas y enfermedades. CIFA (centro de investigación y formación agrarias). Cantabria, ed, gobierno de Cantabria, p. 18, 22.
- Guasch Semillas. 2014. Lechugas Hojas Abiertas: Lechuga Grand Rapid TBR, lechuga Waldmann's Green, (En línea) consultado 09 de septiembre del 2014. Disponible en <http://guasch.com.ar/GuaschSemillas%C2%AE/Hortalizas/Lechugas%20Hojas%20Abiertas/Lechuga/GrandRapidTBR/Caracteristicas/135/SubDivisiones/63/1/>.
- Guasch Semillas. 2014. Lechugas Hojas Abiertas: Lechuga Waldmann's Green, (En línea) consultado 09 de septiembre del 2014. Disponible en <http://guasch.com.ar/GuaschSemillas%C2%AE/HuertaJardin/Hortalizas/Lechuga/Waldman%C2%B4sGreen/Caracteristicas/159/Especies/199/1/>.

- Guntaue, O. 2015. Producción de Jitomate Mediante Técnicas de Hidroponía Solución Nutritiva: Introducción. Manual 5. p. 70.
- Granval de Millán, N; Gaviola, JC. 2013. Lechuga: Manual de producción de semillas hortícolas, descripción botánica, p 8, 12, 21.
- Granados M. 2007. Efectos del Quick sol en hojas de lechuga observados bajo microscopia electrónica de barrido, universidad de Costa Rica, CR. sp.
- Hidroponía CR. 2009. La lechuga: variedades, (En línea) consultado 08 de septiembre del 2014. Disponible en <https://sites.google.com/site/hydrocr/la-lechuga>.
- Hidroponía Mex. 2015. Solución hidropónica, (En línea) consultado el 23 de octubre del 2015. Disponible <http://hidroponiamex.blogspot.com/p/solucion-hidroponica-sn.html>.
- Hydroenv. 2013. Guía para el cultivo de la lechuga hidropónica: variedades de lechuga y características del cultivo, (en línea) consultado el 03 octubre 2013. Disponible, [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=52&chapter](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=52&chapter).
- HydroEnvironment. 2015. ¿Qué es la hidroponía?: como utilizar el luxómetro. (En línea). Consultado el 27 de marzo del 2015. Disponible [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=222](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=222).
- HydroBuddy v.1.50. (2013). Sistema de programa para cálculo de fertilizantes en hidroponía. sp.
- HydroEnvironment. 2015. ¿Qué es la hidroponía?: factores a considerar en la producción de cultivos con NFT. (En línea) consultado el 24 de febrero del 2015. Disponible en [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=101&chapter=9](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=101&chapter=9)
- Horticultura Efectiva. 2011. Origen de la lechuga: manejo de cultivos hidropónicos bajo invernaderos, (En línea) consultado el 27 agosto del 2014. Disponible en <http://www.horticulturaefectiva.net/2011/10/la-lechuga-y-su-origen.html>.
- Ibarra A, C.F. 2015. Cultivos Hidropónicos Sistema NFT (Nutrient Film Technique): técnica de flujo continuo de una película de solución nutritiva (NFT). (Diapositivas). Universidad de Cundinamarca. 25 diapositivas.

- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2012. Encuesta nacional agropecuaria, superficie cultivada de producción y rendimiento, parte II. La Paz, BO, p. 54, 65.
- INE-ENA (Instituto Nacional de Estadística-Encuesta Nacional Agropecuaria). 2008. Parte II Bolivia superficie cultivada, producción y rendimiento: Bolivia y La Paz. p. 51, 84.
- Infoagro. 2008. El cultivo de la lechuga: taxonomía, (En línea) 12 de mayo del 2014, Disponible en: [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com).
- Infoagro. 2015. Cultivo de la lechuga: requerimiento edafoclimatico, (En línea) 08 de marzo del 2015. Disponible en <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm> .
- Izquierdo, J. 2003. Manual técnico de hidroponía popular. FAO. Santiago CL. sp.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuarias). 2008. Guía Técnica de Cultivos: siembra. Edit. Villavicencio V, A; Vásquez C, W. Manual No. 73. Quito, EC. Artes Gráficas, Silva 2551-236. Ficha 1.
- INPAC (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 2006. Hidroponía sistema de cultivo NFT: Altura de la lámina y flujo de la solución nutritiva. Serie III, Fichas tecnológicas. p. 3, 9.
- Inspirulina. 2014. 10 beneficios de la lechuga: Introducción. (En línea) consultado el diciembre del 2014. Disponible en <http://www.inspirulina.com/10-beneficios-de-la-lechuga.html>.
- Lacarra García, AR; García Sandoval, C. 2011. Validación de cinco sistemas hidropónicos para la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en invernadero: oxigenación de la solución nutritiva. Trabajo de Experiencia Recepcional, Xalapa, MX. Universidad Veracruzana. p. 24.
- Licea Zepeta, I. 2012. Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía: Conductividad eléctrica. Tesis Lic. Ing. Agr. Querétaro, MX. Universidad Autónoma de Querétaro. p. 10.
- Mamani Huayta, ER. 2011. Comportamiento Agronómico del Cultivo de Lechuga Suiza (*Varianella locusta* L.) Bajo Condiciones de Minitúnel y Acolchado Orgánico, en la

- Ciudad de el Alto – 3: ciclo del cultivo. Tesis Ing. Agr. El Alto. BO. Universidad Pública De El Alto. p. 16.
- Mateo Box, J.M., 2005. Prontuario de Agricultura – Cultivos Agrícolas: Exigencias climáticas. Editorial Aedos, A.S., ES, ed. Mundi- prensa, p. 518.
- Maocho, F. 2009. Descripción general: temperatura. (En línea). Consultado el 22 de marzo 2011 disponible en <https://felixmaocho.wordpress.com/2009/07/30/huerto-familiar-%E2%80%93-cultivo-de-la-lechuga/>.
- Méndez, C.H. 2015. Gestión de clima (Diapositivas): temperaturas optimas a diferentes intensidades luminosas. Universidad de Costa Rica. 16 diapositivas.
- Montesdeoca P, Nancy. 2009. Caracterización Física, Química y Funcional de la Lechuga Rizada (*Lactuca sativa variedad crispera*), para la Creación de una Norma Técnica Ecuatoriana, por Parte del Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2008: Semilla. Tesis Ing. Agr. Quito, EC, Universidad Tecnológico Equinoccial, p. 13, 14.
- Mora, J. 2008. Prueba Exploratoria: Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en hidroponía. Rio Gallegos, Santa Cruz: Introducción. Santa Cruz, AR. p.6, 2.
- Mora, J. 2001. Ensayo del rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo siembra directa y trasplante, en invernáculo, Santa Cruz, AR. p. 2.
- Ninancuro Ramos, E.J.; Tantri Wiyasa, B. 2007. Producción Hidropónica de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en Sistema Recirculante en la Región Atlántica de Costa Rica: Hidroponía. Proyecto de Grado. Lic. Ing. Agro. Guácimo, limón, CR. Universidad EARTH. p. 6.
- Noguera García, V. 1993. Sistemas de solución perdida y recirculante: descripción, análisis y valores. In CANOVAS MARTINEZ, Francisco y Díaz Alvares, José (eds.) curso especialización sobre cultivos sin suelo. Almería, ES. p. 85.
- Nuez, F. 1999. El cultivo del tomate: Plagas y enfermedades del tomate Guía de identificación y manejo. Editorial Mundi – Prensa, Bilbao, ES. 1, 23.
- Oasisfloral. 2015. Manual de Hidroponía: Solución nutritiva. M, S.A. de C.V. p.9.

- Ochoa Torrez, R.R. 2009. Diseños experimentales. 1ra ed. La Paz, Bolivia. p. 151, 158.
- Pamplona, J. 2006. Salud por los alimentos: Propiedades e Indicaciones. 1ra ed. Madrid (España): Editorial Safeliz, p 54, 55.
- Paye, V. 2013. Cultivo de la lechuga: fases del desarrollo. (Diapositivas). La Paz, BO. 17 diapositivas.
- Palacios Zúñiga, RQ. 2015. Principales características de las hortalizas de hojas: características. (En línea) consultado 20 de marzo del 2015. Disponible. [www.monografias.com/trabajos84/principalescaracteristicashortalizashojas/principales-caracteristicas-hortalizas-hojas.shtml](http://www.monografias.com/trabajos84/principalescaracteristicashortalizashojas/principales-caracteristicas-hortalizas-hojas.shtml).
- Pardo Chase, J. 2001. Producción de lechugas hidropónicas: Uso en Medicina Tradicional. Universidad del Pacífico Lima, P. p. 96.
- Quispe, N. 2012. Evaluación del efecto de la orina humana en la fertilización del manejo ecológico de la lechuga (*Lactuca sativa* L) en el municipio de Sorata. Tesis Ing. Agr. La Paz. BO. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". p. 67.
- Ruiz Figueroa, JF; Leal Serrate, E; Torres Cedillo, L. 1992. Agricultura sostenible: un enfoque ecológico, socioeconómico y de desarrollo tecnológico II simposio y I Reunión Nacional (1992, Montecillo, MX). Evaluación de la fertilización orgánica sobre el rendimiento de lechuga en suelos ferralíticos de Cuba: Memoria. Ed. Montecillo, MX. Edit. Colegio de postgraduados. p. 123.
- Ruiz Sánchez, A; Imbaquingo Fernández. V. 2013. Análisis Productivo y Económico del Cultivo de Lechuga (*Lactuca Sativa* L) Mediante la Aplicación de Tres Niveles de Compost, en la Parroquia San Pablo, Provincia Imbabura: Resumen. Tesis de Medicina. Imbabura, Universidad de Nacional de Loja, sp.
- Resh, H.M. 2001. Cultivos hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción (5ª ed.). Mundi Prensa. sp.
- Resh, H.M. 2006. Cultivos hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción (5ª ed.). Mundi Prensa. p. 161.

- Resh, H.M. 2013. Cultivos hidropónicos: (En línea) consultado el 20 de septiembre 2014. Disponible en Program/Files/HydroBuddy/hydrobuddy.exe.
- Rubio S, A. 2013. Caracterización, multiplicación y regeneración de variedades hortícolas tradicionales de la zona centro-oeste de España para su conservación en bancos de germoplasma: origen de la lechuga. Tesis Ing. Agr. Salamanca, ES. Universidad de Salamanca. p. 34.
- Salinas Toapanta, C.D. 2014. Introducción de cinco variedades de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el barrio santa fe de la parroquia Atahualpa en el cantón Ambato: cultivo de la lechuga. Tesis Ing. Agr. Ambato, EC. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica. p. 20.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2005. Hidroponía rustica: Solución nutritiva. Editores, Espinosa Robles, P; Espinosa Mendoza, LM. Edit, Texcoco- Tocuila, MX. p. 7.
- Semillero San Alfonso. 2014. Emerald Seeds: Grand Rapids TBR (En línea) consultado el 09 de septiembre del 2014.
- Semillasbatlle. 2014. Mantecosa: introducción. (En línea) consultado el 07 de septiembre 2014. Disponible en <http://semillasbatlle.es/es/lechuga-mantecosa>.
- Serrano Cermeño, Z. 2005. Construcción de Invernaderos: niveles óptimos de CO<sub>2</sub>, humedad relativa, temperatura del substrato e iluminación. 3. Ed. Madrid, España. Editorial Aedos, S.A. p. 37.
- Seeds. 2014. Grand Rapids TBR: About Grand Rapids TBR Lettuce. (En línea) consultado el 09 de septiembre del 2014. Disponible en <https://www.google.com.bo/search?q=DESCRIPCION+LECHUGA+CRESPA+GRAND+RAPIDS+TBR&client=firefox-a&rls=org.mozilla>.
- Sistema NFT (Nutrient Film technique). 2010. Requerimientos del sistema "NFT": Altura de la lámina de la solución nutritiva. Eds. Lucas Wan. (En línea) consultado 04 de mayo del 2015. Disponible. <http://www.cannabiscultura.com/f1/showthread.php?p=75437>.

- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. p. 134, 154.
- Smithers Oasis. 2015. Manual de Hidroponía: conductividad eléctrica, Manual, MX. p. 16,17.
- Tapia Figueras, ML. 2009. Fundamentos de producción de cultivos manejo, producción y postcosecha sección de y hortalizas: procesos de germinación (diapositivas). Universidad de Chile, CL. 89 diapositivas.
- Tapia Figueras, ML. 2009. Sistemas de Cultivos Sin Suelo Hidropónicos: solución nutritiva, características deseadas (Diapositivas). Universidad de Chile, CL. 29 diapositivas. Color.
- Tecnología Agroalimentaria. 2015. Horticultura producción de lechuga: temperatura y riego. Menorías. p. 3, 4.
- Vallejo Cabrera, FA. ; Estrada Salazar, EI. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido: Temperatura. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira, CO. Impreso en Imágenes Gráficas S.A., Cali, p 321.
- UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina). 2010 Red Hidroponía. Hidronoticias: respondemos. Edit. M, Chang; R, Cedoño; P, Palacios. Ed. Rodríguez Delfin, A. Boletín Informativo No 48. Molina, Lima, PE. sp.
- UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina). 2011. Red Hidroponía. Hidronoticias: respondemos. Edit. M, Chang; R, Cedoño; P, Palacios. Ed. Rodríguez Delfin, A. Boletín informativo No 50. Molina, lima .PE. sp.
- Victory. 2014. Description: Waldmann's Green, (En línea) consultado 09 de septiembre del 2014. Disponible en [http://www.victoryseeds.com/lettuce\\_waldmanns.html](http://www.victoryseeds.com/lettuce_waldmanns.html).
- Zambrano Mora, AC. 2014. Estudio Comparativo de Tres Genotipos de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Cultivadas en Tres Sistemas de Producción Hidropónica: segunda etapa del semillero o primeros días de la plántula. Tesis Ing. Agr. Guayaquil, EC. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias. p. 20.

## 8. ANEXOS

## Anexo 1. Análisis físico químico de agua



IBTEN

### MINISTERIO DE EDUCACION

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

## ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

INTERESADO : VICTOR PAYE HUARANCA  
PROCEDENCIA : Dpto. LA PAZ, Pvcia. INGAVI,  
comunidad KALLUTAKA

NUMERO DE SOLICITUD : 023 / 2011  
FECHA DE RECEPCION : 20 / Enero / 2011  
FECHA DE ENTREGA : 14 / Febrero / 2011

DESCRIPCIÓN : Muestra de agua CEK

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
041-01 /2011	pH	6,34	-	Potenciometria
041-02 /2011	Conductividad eléctrica	0,201	mS/cm	Potenciometria
041-03 /2011	Sodio	9,11	mg / L	Flamometria
041-04 /2011	Potasio	3,73	mg / L	Flamometria
041-05 /2011	Calcio	16,35	mg / L	Absorción atómica
041-06 /2011	Magnesio	6,20	mg / L	Absorción atómica
041-07 /2011	Cloruros	16,43	mg / L	Método argentométrico
041-08 /2011	Carbonatos	0,00	mg / L	Volumetria
041-09 /2011	Bicarbonatos	64,43	mg / L	Volumetria
041-10 /2011	Sulfatos	20,35	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-11 /2011	Boro	0,52	mg / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-12 /2011	Hierro	2,17	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-13 /2011	Manganeso	0,12	mg / L	Fluorescencia de Rayos X
041-14 /2011	N total	0,85	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-15 /2011	P total	0,17	mg P / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-16 /2011	Nitratos	0,51	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible
041-17 /2011	Amonio	0,09	mg N / L	Espectrofotometria UV-Visible

OBSERVACIONES.-



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUNGARA C.

### Anexo 2. Infraestructura del sistema NFT en forma piramidal



### Anexo 3. Instalación del sistema NFT



#### Anexo 4. Perforación de los tapones



#### Anexo 5. Instalación de las bandejas flotantes para el almácigo



**Anexo 6. pH (peachimetro)****Anexo 7. Conductivimetro**

**Anexo 8. Termómetro para la solución nutritiva****Anexo 9. Temperatura y humedad relativa del ambiente**

**Anexo 10. Luxómetro**



**Anexo 11. Almaciguera**



### Anexo 12. Siembra de la lechuga



### Anexo 13. Cámara de germinación



### Anexo 14. Fertilizantes (g/L) utilizados en la preparación de la solución nutritiva

Fertilizantes	Fertilizantes g/L	
	SN Inicial	SN Final
Nitrato de calcio	18.7	561
Sulfato de magnesio	8	240
Nitrato de potasio	4	120
Cloruro de potasio	4.3	129
Green Plant	4.6	138
Fetrilom Combi 1	0.5	15

### Anexo 15. Peso de fetrilom-combi1



### Anexo 16. Peso de nitrato de potasio



### Anexo 17. Oxigenación de 3 veces al día



**Anexo 18. Primer trasplante**



**Anexo 19. Plántulas en bandejas flotantes con solución nutritiva**



### Anexo 20. Trasplante definitivo



### Anexo 21. Sistema NFT (*Nutrient Film Technique*)



**Anexo 22. Sistema NFT desarrollo del cultivo**



**Anexo 23. Cosecha de las lechuga**



**Anexo 24. Cosecha de la variedad Red Boston**



**Anexo 25. Cosecha de la variedad Grand Rapids TBR**



### Anexo 26. Comercialización



### Anexo 27. Costos de producción de cada variedad de lechuga en tratamiento

Nº	Detalle	Unidad	cantidad	P/ U	TA TOTAL	TB TOTAL	TC TOTAL	TD TOTAL
1	<b>Materiales de campo</b>				<b>42,8</b>	<b>42,8</b>	<b>42,8</b>	<b>42,8</b>
2	plastaformo	m	2	8	16	16	16	16
3	fibra sintética	m	1	10	10	10	10	10
4	agua	m3	0,45	4	1,8	1,8	1,8	1,8
5	energía eléctrica	kwh	0,25	50	12,5	12,5	12,5	12,5
6	mano de obra	global	0,25	10	2,5	2,5	2,5	2,5
7	<b>Material genético</b>				<b>3,75</b>	<b>5</b>	<b>2,5</b>	<b>5</b>
8	Semilla Mantecosa	onza	0,25	15	3,75			
9	Semilla Grand Rapids TBR	onza	0,25	20		5		
10	Semilla Red Boston	onza	0,25	10			2,5	
11	Semilla Grand Rapids Waldmann's Green	onza	0,25	20				5
12	<b>insumos</b>				<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
13	nutrientes	g	0,25	36	9	9	9	9
14	<b>total (Bs.-)</b>				<b>55,55</b>	<b>56,8</b>	<b>54,3</b>	<b>56,8</b>