

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



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE SEIS VARIEDADES DE LECHUGA, (*Lactuca sativa* L.)
CULTIVADAS CON EL SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

LEONEL QUISPE PAIRO

La Paz - Bolivia

2015

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

**“EVALUACIÓN DE SEIS VARIEDADES DE LECHUGA, (*Lactuca sativa* L.)
CULTIVADAS CON EL SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA”**

Tesis de Grado presentado como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

LEONEL QUISPE PAIRO

Asesores:

Ing. M. Sc. Rene Calatayud Valdez

Ing. Williams Alex Murillo Oporto

Tribunal Examinador:

Ing. M. Sc. Celia Fernández Chávez

Ing. M. Sc. Freddy Porco Chiri

Ing. M. Sc. Freddy Carlos Mena Herrera

Aprobado

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA

A Dios, a la vida y a mi familia

Con inmensa gratitud y reconocimiento al inagotable apoyo y sacrificio incondicional de mis padres: Hugo Quispe y Alicia Pairo a mis hermanas Jovana Verónica, Jenny Erika y Karina Milenka como también a toda mi familia que siempre están impulsándome para ser un buen profesional.

AGRADECIMIENTOS

A papá Dios por cuidarme, guiarme y acogerme en su majestuosa espiritualidad cuando más lo necesitaba.

A mis padres por haberme dado la oportunidad de llegar hasta donde estoy, por haberme dado el don de la vida, por su apoyo y comprensión en todo momento, por el impulso moral a seguir siempre adelante y no dejarse por vencido jamás, por el tiempo de dedicación quienes sin limitar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida en mi formación académica.

A mis hermanas, tíos y primos quienes siempre me apoyaron con su paciencia, motivación, esperanza y fortaleza a seguir adelante pese a todo y verme convertido en persona de bien.

A la Estación Experimental de Cota Cota quien me cobijo para la elaboración de la siguiente tesis como también para una formación práctica en todos los años de la universidad.

A la Facultad de Agronomía - UMSA, institución de enorme calidad, por haber contribuido en mi formación profesional como también en lo personal, de igual forma agradecer de manera muy fraterna a todo el personal que forma parte de la tan distinguida Universidad que siempre están contribuyendo para los futuros profesionales.

A mi País Bolivia que mediante la Universidad Mayor de San Andrés, nos permite a los jóvenes acceder a una formación superior gratuita, dotándonos del mejor instrumento para hacer de Bolivia una patria digna.

Debo agradecer de manera muy especial a cada uno de mis asesores Ing. Rene Calatayud Valdez e Ing. Williams Alex Murillo Oporto, por el apoyo brindado para la elaboración de este trabajo, por sus sugerencias, recomendaciones y más por la amistad brindada en el transcurso y desarrollo del presente trabajo.

Agradecer a mis revisores: Ing. Freddy Porco Chiri, Ing. Celia Fernández Chávez e Ing. Freddy Carlos Mena, por las valiosas contribuciones, sugerencias pertinentes y por el tiempo brindado para hacerme conocer las falencias y/o exactitudes y así llegar a un trabajo final digno de la Facultad.

Mi cariño y más profundo agradecimiento a mis queridos padres Hugo Quispe Condori y Alicia Pairo Susara, por su incomparable esfuerzo, amor y comprensión, que con su cariño y aliento facilitaron mi trabajo y agradecerles a de manera muy especial y afectuosa a mis hermanas Jovana Verónica, Jenny Ericka y Karina Milenka, por apoyo moral y confianza que siempre me brindan.

Un agradecimiento muy especial a mis querid@s amig@s: Leyna Varinia Pacheco, Marizol Nina, Milenka Luz Sarmiento, Paola Zuñagua, Lily Alanoca, Melvi Arana, Braulio Hilton Mamani, Sergio Vladimir Apaza, Martin Rivera, Renzo Alan Santana, Ronal Pari, Milan Achacollo, que me brindan su amistad sincera y su apoyo incondicional.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	i
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación.....	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
2.3 Hipótesis	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 El cultivo de la Lechuga	5
3.1.1 Origen.....	5
3.1.2 Características de la lechuga	6
3.1.3 Taxonomía	6
3.1.4 Morfología.....	7

3.1.5	Características agroecológicas de la lechuga	7
3.1.6	Composición del valor nutritivo de la Lechuga	9
3.1.7	Variedades	10
3.1.8	Densidad de plantación	12
3.1.9	Plagas y enfermedades.....	12
3.1.10	Labores culturales	13
3.1.11	Rendimiento	14
3.2	Hidroponía	15
3.2.1	Cultivos Hidropónicos	15
3.2.2	Ventajas y desventajas	16
3.2.3	Solución Nutritiva	19
3.2.4	Métodos de cultivo hidropónico	24
3.2.5	Etapas del manejo	26
4.	LOCALIZACIÓN	30
4.1	Ubicación geográfica	30
4.2	Características agroecológicas.....	31
4.2.1	Clima	31
4.2.2	Suelos	31
4.2.3	Vegetación.....	31
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1	Materiales	32
5.1.1	Material biológico	32
5.1.2	Materiales de campo	32
5.1.3	Materiales para la construcción de sistema hidropónico	32
5.1.4	Insumos para la preparación del sustrato en almaciguera	33

5.1.5	Sales para la preparación de la solución nutritiva	33
5.1.6	Materiales de gabinete	33
5.1.7	Material de laboratorio.....	33
5.1.8	Instrumentos de meteorología	33
5.1.9	Insumos.....	33
5.2	Metodología	34
5.2.1	Procedimiento experimental	34
5.2.2	Diseño experimental	43
5.2.3	Modelo Lineal Aditivo (Yacob, 2013)	43
5.3	Variables de respuesta	45
5.3.1	Porcentaje de germinación	45
5.3.2	Porcentaje de emergencia	45
5.3.3	Numero de hojas	45
5.3.4	Altura de planta.....	45
5.3.5	Peso de la planta (materia verde)	45
5.3.6	Rendimiento por unidad de superficie (kg/m ²)	46
5.4	Análisis Económico.....	46
5.5	Análisis químico del agua	46
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
6.1	Fluctuaciones de temperatura	47
6.1.1	Fluctuaciones de temperatura promedio.....	47
6.2	Respuesta Fisiológica	48
6.2.1	Días a la madurez de cosecha.....	48
6.3	Variables agronómicas.....	49
6.3.1	Porcentaje de germinación	50

6.3.2	Porcentaje de emergencia	52
6.3.3	Numero de hojas	54
6.3.4	Altura de planta	59
6.3.5	Peso de la planta	64
6.3.6	Rendimiento comercial de la planta	70
6.4	Análisis económico	76
6.4.1	Relación Beneficio y Costo (B/C)	77
7.	CONCLUSIONES.....	79
8.	RECOMENDACIONES.....	80
	BIBLIOGRAFÍA	82
	ANEXOS	89
	BASE DE DATOS	89
	COSTOS DE PRODUCCIÓN	93
	ANÁLISIS ECONÓMICO	95
	TOTAL DE COSTOS FIJOS Y VARIABLES.....	96
	FOTOGRAFÍAS DURANTE EL ESTUDIO REALIZADO	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido del valor nutricional de la lechuga por cada 100 gramos de materia seca	10
Cuadro 2. Tipos de cultivares de lechuga.....	11
Cuadro 3. Comparación de la producción en el suelo y bajo el sistema de hidroponía	17
Cuadro 4. Soluciones Nutritivas y sus concentraciones en ppm para la lechuga	20
Cuadro 5. Soluciones concentradas o stock	20
Cuadro 6. Clasificación de agua según valores de CE	22
Cuadro 7. Valores recomendados de CE y pH en soluciones nutritivas para algunos cultivos	23
Cuadro 8. Ciclo de producción.....	49
Cuadro 9. Resultados obtenidos de variables de respuesta	49
Cuadro 10 . Análisis de varianza para el número de hojas al momento de la cosecha	56
Cuadro 11. Comparaciones de medias de número de hojas	57
Cuadro 12 . Análisis de varianza para la altura de planta a la cosecha	60
Cuadro 13. Comparaciones de medias de altura	62
Cuadro 14. Análisis de varianza para el peso de la planta al momento de la cosecha	66
Cuadro 15. Comparaciones de medias de los pesos de las plantas	68
Cuadro 16. Análisis de varianza sobre rendimientos de las diferentes variedades estudiadas.....	72
Cuadro 17. Comparaciones de medias de los rendimientos comerciales.....	74
Cuadro 18. Presupuesto parcial de la producción, (kg/m ²) en Bs.	76
Cuadro 19. Relación Beneficio Costo.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Preparación de una almaciguera para la siembra	28
Figura 2. Almaciguera de lechuga en cubos de poliuretano	28
Figura 3. Forma como se trasplantan las plántulas del almácigo a raíz flotante, la espuma sujeta el cuello de la plántula	29
Figura 4. Ubicación de la investigación realizada	30
Figura 5. Sistema hidropónico NFT	34
Figura 6. Sistema de distribución para el sistema NFT	34
Figura 7. Contenedor de micro piscina.....	35
Figura 8. Contenedor de almaciguera	35
Figura 9. Desarrollo de la preparación del sustrato	36
Figura 10. Siembra en la almaciguera.....	36
Figura 11. Primer trasplante a la piscina flotante	37
Figura 12. Proceso del segundo trasplante y definitivo	38
Figura 13. Control del pH y CE.....	40
Figura 14. Toma de datos.....	40
Figura 15. Botellas pett para evitar el descenso brusco de temperatura	41
Figura 16. Cosecha por variedad	42
Figura 17. Embolsado de las lechugas	42
Figura 18. Distribución de los tratamientos	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fluctuaciones de temperatura promedio	47
Gráfico 2. Porcentajes de germinación de las variedades en estudio	50
Gráfico 3. Porcentaje de emergencia de las variedades en estudio	52
Gráfico 4. Numero de hojas promedio de las variedades en estudio.....	54
Gráfico 5. Altura de planta promedio de las variedades estudiadas	59
Gráfico 6. Peso promedio de las variedades estudiadas	64
Gráfico 7. Promedios de rendimiento de las variedades estudiadas	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Promedio de numero de hojas a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas.....	89
Anexo 2. Promedio de altura de la planta a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas.....	89
Anexo 3 Promedio de peso de la planta a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas.....	89
Anexo 4. Promedio de rendimiento comercial de las diferentes variedades estudiadas.....	90
Anexo 5. Temperatura (C°) y humedad relativa (%)	90
Anexo 6. Instalación de almacigueras e piscina flotante.....	93
Anexo 7. Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT.....	93
Anexo 8. Costos de Material Vegetal y Sales para la solución Nutritiva	94
Anexo 9. Rendimiento Promedio Ajustado	95
Anexo 10. Análisis Económico de las variedades estudiadas.....	95
Anexo 11. Calculo de número de campañas (cosechas)	95
Anexo 12. Costos de Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT	96
Anexo 13. Costos de Material Vegetal e Insumos nutritivos (solución nutritiva)	96
Anexo 14. Resultado del Análisis de Agua	97
Anexo 15. Fotografías	99

RESUMEN

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

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

El objetivo de este trabajo, fue el de evaluar el comportamiento de seis variedades de lechuga como la Lechuga Crespa punta Morada var. Prizehead, Lechuga Romana Blanca Hortanela, Lechuga Waldmann Green var. Caps, Lechuga Red Salad Bowl, Lechuga Crespa Morada y Lechuga Maravilla 4 estaciones, cultivadas con la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT) y determinar cuál de ellas presentaría el mayor rendimiento y rentabilidad.

Para alcanzar el objetivo planteado, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco repeticiones, en donde los tratamientos fueron las seis variedades de lechuga. El estudio se realizó en la carpa solar de la materia de horticultura en el Centro Experimental Cota Cota de la Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, ocupando un área de 30,6 m², dentro de la carpa solar, esta área es de una estructura de tipo "A", donde se aprovecha la altura y la forma de posición de dicha estructura, en donde se dispusieron seis filas de tubos PVC partidas por la mitad y en cada fila una distinta variedad de lechuga, con un distanciamiento de 30 cm de tubo a tubo y estas presentaban una pendiente de 1,5% para la circulación de la solución nutritiva. El ciclo de cultivo de las variedades estudiadas fue de julio a septiembre de 2014.

Los resultados indican que la variedad Maravilla 4 Estaciones presento un mejor rendimiento con 5,07 kg/m² a comparación de las otras variedades estudiadas

como la variedad Waldmann Green, que presento un rendimiento de 4,79 kg/m², seguidos por las variedades Crespa Morada con un rendimiento de 4,66 kg/m², Red Salad Bow con un rendimiento de 4,64 kg/m², Romana Blanca Hortaneta con un rendimiento de 4,60 kg/m² y por último la variedad Crespa Punta Morada var. Prizehead con un rendimiento de 4,41 kg/m².

En relación a rentabilidad la variedad Waldmann Green, fue la que presentó la mayor demanda en el mercado, seguido por la variedad Romana Blanca Hortaneta, Crespa Punta Morada var. Prizehead, Maravilla 4 Estaciones, Crespa Morada y Red Salad Bow. Como también su demanda en el mercado depende mucho de la presentación y forma en la que están distribuidas.

De acuerdo al análisis económico, los ingresos de la producción en este sistema hidropónico resultaron que las variedades como, la T3 (Maravilla 4 Estaciones), el T2 (Waldmann Green var. Caps), el T6 (Crespa Morada); presentan valores mayores a 1, lo que nos indica que son rentables. Las variedades restantes como el T1 (Red Salad Bow), el T4 (Romana Blanca Hortaneta) y el T5 (Crespa Punta Morada var. Prizehead); presentan valores menores a 1, lo que nos indica que no son rentables. Por otra parte el análisis de B/C se hizo con todo los costos de instalación, incluyendo costos fijos más costos variables y considerando que en un año se estaría recuperando todo lo invertido inicialmente y por consiguiente las ganancias serian considerables al siguiente año de producción.

En relación de la comercialización lo más aceptable y rentable es la venta de Romana Blanca Hortaneta, Crespa Punta Morada y Waldmann Green, como una mezcla de hojas en relación 1:1:1 en bolsa de 400 g aproximadamente para obtener una mayor rentabilidad, como también en la variedad Maravilla 4 Estaciones hacer una mezcla con Red Salad Bow y Crespa morada con una relación de 1:1:1 en bolsas de 400 g aproximadamente para una mejor presentación y aceptabilidad dentro del mercado comercial.

SUMMARY

The population growth in urban and rural areas results in a demand of vegetables that meet quality standards. Among the vegetables is the lettuce, which in local markets makes it difficult to obtain the proper standards.

This demand can be solved by producing the mentioned culture intensively and in tight spaces using the technique known as hydroponic nutrient solution recirculating technique (NFT) with which it is possible to obtain high quality end products.

The objective of this work was to evaluate the behavior of six varieties of lettuce such as lettuce tip Crespa Morada var. Prizehead, White Hortaneta Romaine lettuce Waldmann Green var. Caps, Lettuce Red Salad Bowl, bok choy and lettuce Wonder 4 seasons, cultivated with nutrient solution recirculating technique (NFT) and determine which present the best performance and profitability.

An experimental design of randomized complete block with five replications, where the treatments were six varieties of lettuce was used to achieve the stated objective. The study was conducted on solar tent in the field of horticulture Cota Cota experimental center of the Faculty of Agronomy, Universidad Mayor de San Andres, occupying an area of 30,6 m², within the solar tent, this area is a structure of type "A", where the height and shape of the structure position is used, in which six rows of PVC tubes were placed halved with a spacing of 30 cm of tube to tube and these had a pending 1.5% for circulating nutrient solution. The growing cycle of the varieties studied was from July to September 2014.

The results indicate that the variety Wonder 4 Seasons presented better performance with 5,07 kg/m² compared to the other varieties studied the variety Waldmann Green to present a performance of 4,79 kg/m², followed by varieties choy with a yield of 4,66 kg/m², Red Salad Bow yield of 4,64 kg/m², Roman White Hortaneta yield of 4,60 kg/m² and finally variety Tip Crespa Residence var. Prizehead yield of 4,41 kg/m².

Regarding profitability variety Waldman Green, he was the one with the greatest demand in the market, followed by the Roman variety Hortanela Blanca, Punta Morada Crespa var. Prizehead, Wonder 4 Seasons, choy and Salad Red Bow. As demand in the market depends largely on the presentation and how they are distributed.

According to the economic analysis, revenues from production in this hydroponic system were that varieties as the T3 (Marvel 4 Seasons), T2 (Waldmann Green Caps var.), T6 (choy); They have values greater than 1, which indicates that they are profitable. The remaining varieties such as T1 (Red Salad Bow), T4 (Roman White Hortanela) and T5 (Crespa Punta Morada Prizehead var.); 1 have lower values, indicating that we are not profitable. Moreover, the analysis of B/C took all installation costs, including fixed costs plus variable costs and considering that a year would be invested initially recovering everything and therefore profits would be considerable production the following year.

Regarding the most acceptable and profitable marketing is selling White Hortanela Romana, Punta Morada Crespa Waldmann and Green, as a mixture of leaves in 1:1:1 bag of 400 g for improved profitability, as well in variety Wonder 4 Seasons make a mix Salad with Red Bow and Crespa home with a ratio of 1:1:1 in 400 g bags for better presentation and acceptability within the commercial market.

1. INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales es una preocupación constante para todos los agricultores, el incrementar la calidad y cantidad de sus cosechas; asimismo mejorar y aumentar su ingreso económico.

La producción de hortalizas puede hacerse en forma intensiva en espacios reducidos tanto en áreas rurales como urbanas, utilizando tecnologías de producción que combinen sustratos inertes y soluciones nutritivas.

Por tanto la hidroponía es un método desarrollado que se basa en sistemas balanceados de control en donde las plantas reciben una nutrición adecuada para su crecimiento y desarrollo, basándose en que las plantas mantienen sus raíces continua o intermitentemente inmersas en una solución acuosa que contiene los elementos minerales esenciales para su crecimiento.

La técnica NFT (Nutrient Film Technique), es una de las ramas de la hidroponía con la cual se puede lograr una alta densidad de plantas, capaz de mecanizarse y adaptarse a regiones limitadas de precipitación, suelos no aptos para la agricultura y de climas adversos, por lo cual es una estrategia productiva de importancia para las zonas rurales del Altiplano y Valles de nuestro país.

La lechuga es una de las plantas más importantes del grupo de las hortalizas de hoja que se consume como ensalada y es conocida en casi todos los países del mundo, es un alimento que aporta muy pocas calorías, alto porcentaje de agua (90-95%), vitaminas (folatos, pro vitamina A o beta-caroteno y cantidades apreciables de vitamina C), minerales (potasio y magnesio) y fibra. (www.botanical-online.com. 2014).

Esta investigación pretende mostrar las ventajas de esta técnica y sus resultados en el cultivo de la lechuga, por la importancia económica y nutritiva de este cultivo, que es una fuente de minerales para la alimentación humana, además de ser una hortaliza muy utilizada en ensaladas y para el adorno de muchas comidas. Por

estas razones se busca beneficiar la producción de este cultivo, elevando su rendimiento y mejorando su calidad nutritiva.

1.1 Antecedentes

Aruquipa (2008), realizó estudios en la producción hidropónica, con el uso de dos sustratos (sólido y líquido); en cuatro variedades de lechuga, y además dar a conocer la adaptabilidad y los rendimientos de las diferentes variedades, donde encontró un valor de rendimiento de $5,37 \text{ kg/m}^2$ a favor del sustrato sólido con la variedad Gran Rapid, con relación al sustrato líquido que sólo tuvo $3,0 \text{ kg/m}^2$ con la variedad Gran Rapid.

Al respecto Urey (2007), realizó la producción hidropónica en el Sistema NFT en predios de la Universidad de San Simón Cochabamba - Bolivia donde la variedad Crespa es la que mayor rendimiento obtuvo ($42,375 \text{ t/ha}$), seguido de la variedad Romana con $40,585 \text{ t/ha}$, y por último la variedad Blanca con un rendimiento de $33,062 \text{ t/ha}$. Correspondiendo la respuesta varietal y genética de las variedades Crespa y Romana que son las que mejor respondieron al sistema hidropónico recirculante.

Intipampa (2014), realizó estudios en dos variedades de lechuga donde los resultados obtenidos bajo las condiciones climáticas del municipio de Caranavi el cultivar que mayor rendimiento presentó en la comunidad de Santa Fe es Grand Rapids "Bonanza" con $1,96 \text{ kg/m}^2$ y menor rendimiento para Waldmann Green con un valor de $1,88 \text{ kg/m}^2$ y en Bolinda es de $1,88 \text{ kg/m}^2$ para Waldmann Green y de $1,78 \text{ kg/m}^2$ para Grand Rapids "Topseed".

Andrade (2011), explica que "La producción de lechuga se realiza en una extensión superficial de 300 metros cuadrados, y gracias a la vanguardia de la tecnología se tiene una producción alta, que permite una cosecha diaria de más de 1800 bolsas de lechuga".

El mismo autor asegura que si se haría la comparación con el cultivo tradicional se requeriría más o menos una hectárea de terreno para igualar este nivel de

producción, también el ciclo de producción normal de la lechuga en tierra es de tres meses, en cambio a través del sistema de hidroponía se logra una cosecha en 35 a 40 días.

Mientras la población mundial continúa creciendo, las tierras fértiles son cada vez más escasas y el agua de buena calidad continúa disminuyendo, y cada vez más gente migra hacia las grandes ciudades.

Por las razones expuestas, la agricultura tradicional no logra resolver el problema alimentario, necesiéndose incorporar y usar métodos no tradicionales para producir alimentos, tales como los cultivos hidropónicos que son altamente potenciales para zonas marginales (no agrícolas), debido a que no dependen directamente de las condiciones físicas y químicas del suelo.

1.2 Justificación

La investigación planteada, busca generar información que conlleve a mejorar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) no solo en la zona del experimento sino en los diferentes pisos ecológicos, el mismo que es necesario para mejorar el desarrollo del cultivo de hortalizas, en particular la lechuga.

Por otra parte en la región del Altiplano Boliviano, es conocida la escasez estacional de Hortalizas debido a la ausencia de lluvias o la presencia de heladas u otros fenómenos naturales, que limitan seriamente la producción de volúmenes considerables de estos vegetales.

Además se observa un crecimiento de población y vivienda en el área urbana, debido a la migración de personas que habitaban el área rural que busca nuevas oportunidades de trabajo. Esto ocasiona el aumento, de una demanda de productos alimenticios de buena calidad, como es el caso de hortalizas y verduras.

Esta situación determina la necesidad de buscar alternativas de solución para la producción comercial de hortalizas a bajo costo, alto aprovechamiento del espacio, sobre todo de problemas fitosanitarios y mano de obra calificada.

La hidroponía es una clara alternativa al problema de la escasez de tierras agrícolas y de agua en nuestro medio, dado los principios científicos y técnicos en los cuales se basa, que la convierten en una tecnología operativamente sencilla, funcionalmente viable y fácilmente aplicable a la solución de problemas de producción de alimentos, ya que los rendimientos por unidad de área cultivada son superiores a un cultivo en campo al permitir altas densidades de siembra y elevada producción por planta. (Catacora, 1996).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar seis variedades de lechuga, (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) en el Centro Experimental de Cota Cota.

2.2 Objetivos específicos

- Estudiar el comportamiento agronómico de seis variedades de Lechuga bajo el sistema de producción hidropónica.
- Evaluar el rendimiento de las seis variedades de lechuga al final de la cosecha.
- Realizar el análisis económico de la producción de lechuga en el sistema productivo hidropónico.

2.3 Hipótesis

Ho: Las seis variedades de lechuga, (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) en el centro experimental de Cota Cota son las mismas

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 El cultivo de la Lechuga

3.1.1 Origen

La lechuga es una hortaliza que se conoce desde hace mucho tiempo. Es originaria del continente asiático. Fue traída a América con la conquista española, en la actualidad se encuentra con un gran número de cultivos de diferentes cultivares adaptadas a diferentes climas. (Enciclopedia Bolivia Agropecuaria, 2010).

Vigliola (1992), sostiene que la lechuga es originaria de las costas del Mediterráneo y su importancia radica en que el cultivo ocupa el tercer lugar dentro de las hortalizas cultivadas.

Por otra parte Serrano (1996), menciona que las primeras indicaciones ciertas de la existencia de lechuga datan de aproximadamente 4500 años A.C. grabados en tumbas Egipcias, en que se representan lechugas similares a las de hoy conocidas como tipo espárrago, igualmente fue conocida y utilizada por los antiguos Persas, Griegos y Romanos que incluso desarrollaron la técnica del blanqueamiento.

Desde el Mediterráneo su cultivo se expandió rápidamente por Europa y fue traída por los primeros conquistadores a América, donde se ha convertido en una de las hortalizas más populares y de mayor importancia económica. En la actualidad se debe considerar una especie de distribución universal (Arias, 2009).

Llego a América en 1494, solo dos años después del primer viaje de Colon. Se considera que la lechuga conocida en esa época era la de tipo cos o bien la de hoja (variedad crispera), la lechuga de cabeza se difundió probablemente en el siglo XVI; en 1543, se publicó el Krauterbuch de Leonard Fuchs que incluye un dibujo de la lechuga en flor, con el Título de *Lactuca capitata*, (Mallar, 1978 citado por Intipamapa, 2014).

3.1.2 Características de la lechuga

Este cultivo es típico de climas templados, se desarrolla también en climas cálidos por lo que puede cultivarse en altitudes que van de 300 a 670 msnm, pero su desarrollo óptimo es entre los 1350 a 2100 msnm. Es susceptible a heladas. Las temperaturas mayores a 24 °C, aceleran el desarrollo del tallo floral y deterioran la calidad, pues con el calor se acumula en la planta un látex, que hace amargo el sabor de su hojas, requiere buena humedad en el suelo, pero no le favorece el exceso de lluvia o riego (Bautista, 2000).

Ruiz (1993), acerca de las características botánicas afirma que las hojas varían de tamaño, tienen forma más o menos ancha o alargada, espatulada oval o redonda; de color verde de intensidad variable, matizado del color amarillento al rojo violáceo uniforme en el colorido o manchada, superficie lisa o rugosa, reunidas en un tallo corto; tiene raíz pivotante con distintas ramificaciones, su profundidad va hasta 25 cm.

Según Mallar (1978), citado por Aruquipa (2008), se trata de una planta anual, que dispone de un sistema radicular profundo y hojas dispuestas en cogollo que difieren ampliamente entre variedades, tanto en forma tamaño y color.

3.1.3 Taxonomía

La clasificación sistemática fue realizada por Lizarro (2009):

Clase: Magnoliopsida (dicotiledónea)
Subclase: Asteridae
Orden: Asterales
Familia: Asteraceae
Género: Lactuca
Especie: *Lactuca sativa* L.

3.1.4 Morfología

La lechuga está madura cuando emite el tallo floral, que se ramifica. Las flores de esta planta son autógamas. Las semillas en algunas variedades tienen un periodo de latencia después de su recolección, que es inducido por temperaturas altas. Muchas variedades germinan mal en los primeros dos meses después de su recolección (Mallar, 1978).

Cronquist (1989), afirma que las principales características morfológicas de la lechuga son:

- **Raíz:** Es pivotante, corta y con ramificaciones, no llega sobre pasar los 30 cm de profundidad del suelo.
- **Hoja:** Están colocadas en forma de rosetas, desplegadas al principio, en algunos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos pueden ser lisos, ondulado y aserrado.
- **Tallo:** El tallo se forma una vez pasada la madurez comercial, puede llegar a medir de 1 a 1,20 m de altura en algunas variedades, es cilíndrico ramificado.
- **Inflorescencia:** Son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos y son autógamas.
- **Semillas:** Son pequeños de color marrón oscuro casi negro, marrón más claro, gris amarillento o blanco grisáceo y mide unos 2 mm de longitud.

3.1.5 Características agroecológicas de la lechuga

3.1.5.1 Temperatura

La temperatura ideal durante el día debe estar entre 25 a 28 °C, principalmente durante la noche de invierno es necesario evitar que la temperatura ascienda a menos 0 °C (Estrada, 1990).

Maroto (1995), menciona que las temperaturas diurnas comprenden entre 17 a 28 °C y las nocturnas que varían entre 3 y 12 °C, la incidencia de temperaturas más bajas pueden inhibir el crecimiento mientras la amplitud térmica más prolongado estimulan la formación del tallo posteriormente la floración.

Según Mallar (1978), citado por Aruquipa (2008), indica que la lechuga deberá tener temperaturas necesarias para obtener un buen crecimiento y calidad son los siguientes:

- Promedio mensual óptimo 15 a 20 °C.
- Promedio mensual máximo 21 a 24 °C.
- Promedio mensual mínimo 7 °C.

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

3.1.5.2 Humedad

La mayoría de las plantas se desarrollan en un medio ambiente adecuado de humedad relativa que oscila entre 30 a 70%, en lo cual con una baja humedad las plantas se marchitan, un exceso provoca la proliferación de plagas y enfermedades (Flores, 1996).

El cultivo de lechuga se desarrolla bien en ambientes donde la humedad relativa del aire fluctúa entre 60 y 80%, mayores o inferiores a estas cifras suelen alterar el crecimiento y desarrollo del cultivo, también favorecen el ataque de muchas enfermedades (Hartmann, 1990).

Las variaciones de humedad relativa (HR) diaria en las carpas solares, son mayores al finalizar el día, mientras que alrededor del medio día tienen la tendencia a bajar, dependiendo mucho del medio exterior (García, 1996).

3.1.5.3 Fotoperiodo

El cultivo de la lechuga se puede efectuar durante todo el año, por lo tanto es una planta indiferente respecto a las horas luz existente en las diferentes estaciones del año (Mallar, 1978 citado por Intipampa, 2014).

Para Lira (2004), señala que la intensidad luminosa y la duración de la luminosidad pueden llegar a ser factores limitantes, creciendo lento y aumentando el periodo de acogollado, además en régimen de baja iluminación, los nitratos se acumulan en la hoja, pudiendo entrañar trastornos fisiológicos.

3.1.6 Composición del valor nutritivo de la Lechuga

Según Michelena (2003), la lechuga es un alimento que aporta muy pocas calorías por su alto contenido en agua, su escasa cantidad de hidratos de carbono y menor aún de proteínas y grasas. En cuanto a su contenido en vitaminas, destaca la presencia de folatos, pro vitamina A o beta-caroteno, y vitaminas C y E, la vitamina A, además de tener propiedades antioxidantes.

La lechuga Romana cultivada al aire libre es la variedad más rica en vitaminas, mientras que la Iceberg es la que menor cantidad de vitamina C presenta. Las hojas más externas de la lechuga concentran la mayor parte de vitaminas y minerales (cuadro 1). Es conveniente comerla fresca, para que no se pierdan sus propiedades alimenticias y medicinales (Infoagro, 2014)

También resulta una fuente importante de vitamina K, con lo que protege ante la osteoporosis. Otras vitaminas que destacan en la lechuga son la A, E y ácido fólico. Está compuesta en un 94% de agua y aporta mucho potasio y fósforo (Colinagro, 2008).

Cuadro 1. Contenido del valor nutricional de la lechuga por cada 100 gramos de materia seca

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Carbohidratos (g)	20.1
Proteínas (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina C (mg)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (mg)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I.)	1155
Calorías (cal)	18

Fuente: Dirección de ciencia y tecnología agropecuaria.

3.1.7 Variedades

Existe una gran cantidad de cultivares o variedades de lechugas, por lo general se convierte en una hortaliza ideal y apreciada en cultivos del huerto familiar. Además de tener una variada gama de sabores, colores texturas a la hora de preparar ensaladas, sus ciclos vegetativos son diferentes, sembrando diversas clases en una misma fecha, se obtiene cosechas escalonadas en el tiempo, por tanto evita el trabajo sembrar cada 15 días si se quiere escalonar su consumo (Enciclopedia Bolivia Agropecuaria, 2010).

Al respecto Lexus (2010), menciona que se estima más 250 cultivares o variedades de lechuga, lo cual significa que es conveniente seleccionar muy bien para su producción, consumo y comercialización.

Casseres (1984), indica que por la forma que crece la lechuga determina su clasificación en 3 tipos principales, dentro de los cuales se puede colocar todos los cultivares comerciales: de cabeza, de hoja suelta y cos (indicados en el cuadro 2).

Cuadro 2. Tipos de cultivares de lechuga

Tipo	Descripción	Cultivares Representativos
De cabeza	Cabeza firme Cabeza suave Cabeza suave semiabierta	Great Lakes White Boston Salad Bowl, Bibb
De hoja suelta	Hojas asperas o rústicas Hojas suaves	Gran Rapid Waldman Green Red Salad Romana Galactic Simpson
Cos o rama	Manojo semiabierto de hojas elongadas	White Paris

Fuente: Elaboración propia en base a Casseres (1984)

Las variedades que se evaluaron en el siguiente ensayo son las de hojas sueltas y tienen las siguientes características.

3.1.7.1 De hojas sueltas

Forman una cabeza esférica de hojas crespas, tienen el borde rizado. Sus manojos de hojas erectas son útiles, para los huertos caseros, porque permiten aprovechar algunas hojas exteriores sin arrancar la planta (Casseres, 1984).

Según Mallar (1978), presenta forma de roseta de tamaño mediano a grande, hojas de lámina crespa de borde muy rizado y de color claro o combinado, semilla negra. La textura y sabor de las hojas son regulares cuando la planta llega a su máximo tamaño, pero si se cosecha a la mitad de su desarrollo, mejora notablemente. Es de crecimiento rápido y se puede cosechar inclusive a los 45 días. En EE UU. y Europa se la emplea para cultivo en invernadero, y también en huertas familiares.

La variedad Waldmann Green son de hojas abiertas de tamaño mediano, el color es verde oscuro, las hojas son onduladas de tipo escarolada, el aspecto es tipo Grand Rapids de hojas más largas y más oscuras. Las semillas son de color negro. Se debe sembrar superficialmente en tierra fina, fertilizar en forma adecuada para

obtener un rápido desarrollo y mantener el cultivo siempre con humedad, presenta 800 semillas por gramo (Arias, 2009).

3.1.8 Densidad de plantación

Hartman (1990), menciona que el distanciamiento óptimo para aprovechar al máximo el espacio, cuando se realiza una producción intensiva en lechugas es de 30 cm. entre surcos y 20 cm entre plantas.

Valdez (1993), comenta que en sistemas comerciales de lechuga se puede obtener poblaciones de 66000 a 72000 plantas/ha, utilizando distancias de 0,90 a 1,00 m y de 0,30 a 0,35 m entre plantas y 0,25 m entre hileras.

Según Marulanda (2003), las distancias recomendadas para la lechuga en sustrato sólido son 20 cm entre surcos y 17 cm entre plantas con una población de 23 plantas/m². En cambio en el sustrato líquido las distancias recomendadas son de 17 cm entre plantas con una población de 28 plantas/m².

3.1.9 Plagas y enfermedades

La FAO (2005), menciona que la mejor forma de controlar las plagas y enfermedades es preparando un suelo con buena proporción de nutrientes, humedad y aire para que las plantas se desarrollen fuertes y sanas de modo que no hay susceptibilidad a ataques. Otra es mantener mediante deshierbes continuos y controlados, también evitar lugares sombreados y húmedos que proporcionen el crecimiento de los hongos. El cual disminuye la productividad si no se controla a debido tiempo.

Según Sánchez (2005), entre los principales problemas de plagas y enfermedades de la lechuga se pueden clasificar en los siguientes grupos: Enfermedades del semillero y del suelo: Pythium, Fusarium, Sclerotinia, Rhizoctonia, etc. Enfermedades criptogámicas de la parte aérea: Mildiu, Botrytis, Oidio, Antracnosis, etc. Enfermedades víricas: mosaico y enfermedad de las nerviaciones gruesas. Insectos perjudiciales: pulgones, rosquillas, trips, minadores, etc.

Por otra parte Giaconi y Escaff (1995), afirma que las principales enfermedades que afectan al cultivo de la lechuga están: mosaico, caída de plántulas, oídio, mildiu de la lechuga, podredumbre blanca y los hongos del suelo.

El mismo autor recalca que entre los principales insectos plaga que atacan al cultivo de la lechuga se encuentran: Los pulgones, las babosas, gusanos del suelo y rosquilla negra.

3.1.10 Labores culturales

Hartman (1990), citado por Aruquipa (2008), comenta que una vez sembradas las semillas empiezan la etapa de germinación y crecimiento de las plantas durante la cual hay que hacer las labores culturales de raleo, trasplante, deshierbe y riego.

3.1.10.1 Almacigo

Arias (2009), menciona que es un lugar pequeño y resguardado de la huerta, que permite planificar los cultivos, seleccionar las mejores plantas para su trasplante y ganar tiempo.

El raleo, consiste en arrancar las plántulas que estén muy cerca entre si y que compiten para crecer. Esta operación se debe hacer en almacigueras (Intipampa, 2014).

La siembra en almacigo se realiza con la finalidad de adelantar la cosecha, en climas donde existe el peligro de heladas sorpresivas. En almacigueras se efectúa al voleo en los meses de enero a julio (Llerena, 1980).

3.1.10.2 Trasplante

Estrada (1990), menciona que el trasplante, consiste en el traslado de las plántulas germinadas, en una almaciguera al lugar definitivo de crecimiento, el proceso de trasplante es muy delicado ya que de él depende el crecimiento de las plantas hasta la cosecha. Por otra parte afirma que para los cultivos de invierno los trasplantes deben ser relativamente grandes de 30 x 20 ó 30 x 22 cm.

Donde la luz penetre mejor, los ataques de botrytis pueden evitarse. También el crecimiento mejora pasando el invierno, las distancias de plantación pueden reducirse a 25 x 20 cm puesto que la luz es más abundante (Gostínchar, 1967 citado por Valdez, 2008).

El trasplante debe hacerse cuando el cultivo tenga 30 a 40 días de siembra en la almaciguera (Terranova, 1995).

El trasplante es el traslado de las plántulas germinadas de una almaciguera al lugar definitivo de crecimiento, ya sea en un ambiente atemperado o en un huerto a la intemperie, el proceso de trasplante es muy delicado ya que de él depende el crecimiento de las plantas hasta la cosecha (Hartmann, 1990).

3.1.11 Rendimiento

Para Flores (2009), el rendimiento a campo abierto, en la producción del cultivo más importante dentro de las hortalizas es de 4 a 6 kg/m².

La producción aproximadamente es de 15000 a 30000 kg/ha de acuerdo a la fertilidad del suelo y disponibilidad de riego (Terranova, 1995).

Al respecto Arias (2009), menciona que el rendimiento de la lechuga se halla en un orden de 2 a 3 kg/m².

Marulanda (2003), menciona que el rendimiento de la lechuga en suelo es de 1,6 kg/m², y en hidroponía de 3,5 kg/m².

3.2 Hidroponía

Douglas (1987) e Izquierdo (2005), indican que “el término hidropónico deriva de dos palabras griegas. Hydro=agua y Ponos=trabajo o cultivo, que al conjunciarse significan trabajo en agua y es una alusión al empleo de agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra”.

Amador (2000), menciona que la HIDROPONÍA es un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte o simplemente la misma solución.

FAO-RLC (2000), agrega que es una técnica de producción agrícola en la que se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución líquida.

3.2.1 Cultivos Hidropónicos

Michelena (2003), son denominados cultivos hidropónicos porque los nutrientes requeridos por las plantas se administran a través de un medio líquido. La siembra de los plantines debe hacerse en sustrato sólido y/o en sustrato líquido a partir del trasplante. En ambos casos se cultivan plantines obtenidos a partir de semilleros, las cuales son posteriormente trasplantadas o mediante siembra directa en sustrato sólido.

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

El cultivo hidropónico o cultivo sin tierra, es una forma de producir verduras frescas y sanas en lugares donde no es posible desarrollar agricultura, como complemento de la dieta familiar (Catacora, 1996).

Izquierdo (2005), apunta que una característica importante al cultivo de plantas en un medio sin tierra es que permite tener más plantas en un limitado espacio, las cosechas maduraran más rápidamente y producen rendimientos mayores, se conservan el agua y los fertilizantes, ya que puede reciclarse, además, la hidroponía permite ejercer un mayor control sobre las plantas con resultados más uniformes y seguros.

Resh (1996), menciona en cuanto a la salud y alimentación este sistema es importante porque la hidroponía provee de alimentos frescos de alto valor nutritivo (vitaminas, proteínas, fibra y minerales), siendo mejor la calidad del producto, ante la menor presencia de plagas y enfermedades y por lo tanto de contaminación con productos tóxicos por el menor uso de pesticidas contribuyendo así en la conservación del medio ambiente.

3.2.2 Ventajas y desventajas

3.2.2.1 Ventajas de la Hidroponía

En el sistema de producción hidropónica las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras (Sánchez, 1997).

Dentro de lo mencionado Tapia (1993), señala como el rasgo más importante, la regulación de la nutrición de las plantas, debido a que bajo este sistema es posible tener un control completo y del mismo modo asegurar un suministro homogéneo de nutrientes, ajustable según el estado fenológico.

Devia (1991), agrega otras diferencias, como la condición de humedad constante, independiente del clima o de la etapa de crecimiento del cultivo, asegurando una

irrigación en toda el área radicular, evita el gasto inútil de agua y fertilizantes, y que reduce los problemas de enfermedades producidas por patógenos del suelo.

Según Rodríguez, *et al.* (2002), las ventajas del cultivo hidropónico son:

- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.
- Los rendimientos obtenidos con hidroponía superan la producción en suelo. (Cuadro 3).
- Menor consumo de agua y fertilizantes.
- La técnica es muy apropiada en zonas donde hay escasez de agua.
- No contamina el medio ambiente
- La producción es intensiva, lo que permite tener mayor número de cosechas por año.
- El uso de agua potable o de pozo, garantiza que el cultivo hidropónico sea un producto libre de contaminación y de enfermedades.
- Se obtiene un cultivo más sano e higiénico y por lo tanto, son buenos para la salud. .
- En la agricultura tradicional es necesario hacer una rotación de cultivos para evitar una infestación de nematodos en las raíces. En un cultivo sin suelo no se presenta este problema y se puede trabajar continuamente como monocultivo

Cuadro 3. Comparación de la producción en el suelo y bajo el sistema de hidroponía

PRODUCCIÓN	SUELO	HIDROPONÍA
Lechugas/m ²	6 - 8	25 -28
Lechugas/ha	60000 - 80000	250000 - 280000
Docenas/ha	5000 - 6670	20800 - 23330

Fuente: Rodríguez, Hoyos, Chang, 2002

3.2.2.2 Desventajas

Antes de iniciar un proyecto hidropónico, es importante conocer el manejo agronómico del cultivo porqué, muchos proyectos han fracasado debido a las falsas expectativas de altos retornos que ofrecían las empresas proveedoras, sin tener en cuenta el conocimiento de las plantas, plagas y enfermedades (Izquierdo, 2005).

Giacconi y Escaff (1999), señalan que como la producción depende de la energía eléctrica, debe disponer de alternativas, para no tener problemas en el funcionamiento de la producción, igualmente destacan lo de los costos iniciales de inversión.

Según el Marulanda (2003), señala que la hidroponía es una tecnología atractiva, frecuentemente sobre simplificada, la cual es más fácil de promover que de sostener. Entre las desventajas están:

- La dependencia de adquirir un proyecto con paquete "llave en mano" puede desalentar su continuidad, por los elevados costos de producción. Es mejor hacer pequeños ensayos y con la experiencia adquirida, ir montando su propio proyecto.
- El desconocimiento del sistema hidropónico apropiado para producir un determinado cultivo. Es muy importante tener o recibir una previa capacitación.
- El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos. El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo agronómico (clima apropiado para el cultivo, siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc.) que del conocimiento de la técnica en sí.
- La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas puede alterar su composición y afectar la apariencia y calidad de las plantas.
- Requiere para su manejo a nivel comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química.

- Al utilizar mano de obra no calificada, requiere de previa capacitación para el manejo del sistema.
- A nivel comercial la inversión inicial es alta.
- Se requiere de un abastecimiento continuo de agua.
- Es necesario conocer la especie que se pretende cultivar.

3.2.3 Solución Nutritiva

Sánchez y Escalante (1988), define solución nutritiva como, el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Se ha probado que para el crecimiento y desarrollo de las plantas son necesarios los elementos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel.

Gilda (2005), menciona que a través de la disolución de fertilizantes altamente solubles en el agua, se entregan los elementos minerales esenciales para el cultivo en cualquier estado de desarrollo que se encuentre la planta.

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

Izquierdo (2005) y Marulanda (2003), afirman que existen varias fórmulas para preparar nutrientes y que han sido usadas en varios países. Una forma de preparar la solución nutritiva que ha sido probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe para producir una gran variedad de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales está compuesta de dos soluciones concentradas, las que llamamos: Solución concentrada A (nutriente mayor) y solución concentrada B (nutriente menor).

En el cuadro 4, se puede observar recomendaciones de autores que realizaron ensayos con diferentes concentraciones, para al final poder recomendar la más adecuada para la producción de lechuga en hidroponía en el Sistema Recirculante "NFT".

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

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

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

Según Rodríguez, *et al.* (2002), en hidroponía es común la aplicación de dos soluciones concentradas, denominadas A y B. La fórmula de la solución hidropónica La Molina se prepara con los siguientes fertilizantes (cuadro 5).

Cuadro 5. Soluciones concentradas o stock

Concentración	Fertilizante comercial	Cantidad para 1000 L/g
Solución Concentrada A (para 5 litros de agua, volumen final)	Nitrato de potasio (13.5% N, 45% K ₂ O)	550 g
	Nitrato de amonio (33% N)	350 g
	Superfosfato triple (45% P ₂ O ₅ , 20% CaO)	180 g
Solución Concentrada B (para 2 litros de agua, volumen final)	Sulfato de magnesio (16% MgO)	220 g
	Quelato de hierro (6% Fe)	17 g
Solucion de Micronutrientes (para 1 litro de agua destilada)	Solución de Micro nutrientes	400 ml
	Sulfato de Manganeso	5,0 g
	Ácido Bórico	3,0 g
	Sulfato de Zinc	1,7 g
	Sulfato de Cobre	1,0 g
	Molibdato de Amonio	0,2 g

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

3.2.3.1 Calidad del agua y de la solución nutritiva

Intipampa (2014), menciona que es importante conocer la composición química del agua para decidir si es posible su uso para fines de producción hidropónica. Para conocer la calidad del agua se debe hacer un análisis químico en un laboratorio especializado.

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

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

Rodríguez (2001), dice que para preparar la solución nutritiva se debe tomar en cuenta la concentración de macro y micro nutrientes en el agua. Generalmente el agua contiene calcio, magnesio, azufre y boro, por lo tanto deben ser considerados al formular la solución nutritiva. Algunas fuentes de agua contienen sodio y cloruros; si los niveles son altos, aumenta la salinidad de la solución nutritiva y pueden provocar toxicidad a las plantas. Es por esta razón que no se recomienda utilizar fertilizantes que contienen cloruros ni sodio.

3.2.3.2 Conductibilidad Eléctrica (CE)

Según Álvarez (1999), citado por Murillo (2010), la conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica, el agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica.

Según Resh (1987), sostiene que la conductividad eléctrica es el indicador del contenido de sales totales que hay en la solución; a mayor contenido de sales mayor CE e viceversa.

Por otra parte Fernández (2014), afirma que la conductividad eléctrica es una forma de medir las sales disueltas en la solución, pero esto no quiere decir que es la sumatoria de las cargas de cada compuesto inicialmente utilizado.

Rodríguez, *et al.* (2001), menciona que es muy importante conocer la CE del agua, ya que esta mide el contenido total de sales que tienen el agua o la solución nutritiva; a mayor CE mayor contenido de sales y viceversa. La CE se expresa en miliSiemens (mS/cm) o en deciSiemens (dS/cm), en el cuadro 6 se presenta una clasificación de aguas según su CE expresado en mS/cm.

Cuadro 6. Clasificación de agua según valores de CE

< 0.5 mS/cm, agua no salina	(C1)
0.5 -1.0 mS/cm, agua de baja salinidad	(C2)
1.0 -1.5 mS/cm, agua ligeramente salina	(C3)
> 1.5 mS/cm, agua salina	(C4)

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang, (2001)

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

3.2.3.3 pH de la solución

Baixauli y Aguilar (2002), mencionan que el pH de una solución nutritiva nos marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones, que la mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pHs comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8 puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los microelementos.

De acuerdo a Fossati (1986), el grado de acidez o de alcalinidad de una solución varía de 0 a 14 las soluciones con pH inferior a 4 o superior a 9 no puede ser usado en hidroponía, porque son ácidas o muy alcalinas respectivamente. Las variaciones del pH son determinadas por los elementos químicos que componen o integran las soluciones, la solución tendrá un determinado pH en función del porcentaje de productos químicos (ácidos, alcalinos o neutros) que la compongan.

El pH de una solución es importante ya que controla la disponibilidad de sales de los fertilizantes, y se considera además como un pH óptimo de 5,8 para el crecimiento de la lechuga, aunque también es aceptable rangos entre 5,6 y 6,0 (Albright, 2004).

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

En un sistema Recirculante el pH tiende a elevarse ($\text{pH} > 7,0$) y tiene que ser ajustado a 6,5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, (por esto es necesario conocer rangos de pH adecuados para los cultivos sin necesidad de ajustar diariamente el pH) (Rodríguez, *et al.*, 2001).

Cuadro 7. Valores recomendados de CE y pH en soluciones nutritivas para algunos cultivos

Cultivo	CE mS/cm	pH
Albahaca	1.8 - 2.2	5.5 - 6.5
Apio	2.5 - 3.0	6.0 - 6.5
Brócoli	3.0 - 3.5	6.0 - 6.8
Cebolla	1.4 - 1.8	6.0 - 7.0
Col	2.5 - 3.0	6.5 - 7.0
Coliflor	1.5 - 2.0	6.5 - 7.0
Espinaca	1.4 - 1.8	6.0 - 7.0
Fresa	1.4 - 2.0	6.0 - 6.5
Lechuga	0.8 - 1.6	5.0 - 6.5
Melón	2.0 - 2.5	5.5 - 6.0
Papa	2.0 - 2.5	5.0 - 6.0
Pepinillo	1.0 - 2.5	5.5 - 6.0
Sandia	1.7 - 2.5	5.8 - 6.2
Tomate	2.0 - 5.0	5.5 - 6.5
Zanahoria	1.6 - 2.0	5.8 - 6.3

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang, (2001)

3.2.4 Métodos de cultivo hidropónico

Existen diferentes métodos o sistemas de producción hidropónica, desde los más simples, de trabajo manual, hasta los más sofisticados, donde un alto grado de tecnología y automatización son los protagonistas del funcionamiento, lo que se traduce también en una alta inversión (DICTA., 2002).

Duran (2000), agrega que dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua y cultivos en aire (aeropónico).

Alvarado, *et al.* (2001), señalan que los métodos de cultivos, más utilizados son: cultivos en agua como raíz flotante y el "NFT" (*Nutrient Film Technic*), sistemas de columnas, aeroponía, entre otros.

En estos sistemas de producción hidropónica podemos mencionar a las siguientes:

- Sistema de raíz flotante
- Sistema en columnas
- Sistema aeropónico
- Sistema acuapónico
- Sistema *Nutrient Film Technic* (NFT)

3.2.4.1 Sistema en columnas

Rodríguez, *et al.* (2001), definen el sistema de cultivo en columnas, como un sistema hidropónico de producción comercial que se caracteriza por el crecimiento vertical de las plantas en macetas apiladas o en columnas que contienen un sustrato liviano.

Por otro lado Alvarado, *et al.* (2001), agregan que este sistema permite una alta producción de plantas por unidad de área, pero está restringido para plantas de

porte pequeño que toleren estar colgadas y que tengan sistema radicular no muy extenso.

Izquierdo (2005), menciona que debido a que las plantas que crecen en un sistema de producción vertical deben estar bien iluminadas por la luz del sol, de lo contrario tendrían una menor tasa fotosintética, afectando el rendimiento de las plantas, también recomienda, para lograr una buena iluminación que el distanciamiento entre filas sea de 1,0 m a 1,2 m y la separación entre columnas de 0,8 m a 1,0 m (aproximadamente una columna por metro cuadrado).

Según Ubillus (2000), afirma que con este sistema mantienen las mismas ventajas que los demás sistemas hidropónicos, y se suma la mayor densidad de plantas por unidad de superficie que se puede lograr, y también se debe incluir como cosa adversa un alto costo inicial, cuando se trata de grandes producciones.

Según Alvarado, *et al.* (2001), el sistema de riego puede consistir en la impulsión de una solución por medio de una electrobomba hacia tuberías de polietileno que recorren sobre las columnas y sobre ellas se colocan 3 a 4 goteros conectados a microtúbulos de 3 mm de diámetro. Estos son colocados a diferentes alturas en la columna, para que cuando esté accionado el sistema de riego la columna quede completamente regada por acción de la gravedad.

3.2.4.2 Sistema *Nutrient Film Technic* (NFT)

Carrasco (1996), señala que el principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva a través de las raíces, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado.

Dicta (2002), agrega que el sistema consiste en recircular la solución por una serie de canales de Cloruro de Polivinilo (PVC) de un diámetro de 4 a 6 pulgadas, el agua junto con la solución nutritiva circula por el medio de los tubos mediante una bomba, los tubos están apoyados sobre mesas o armazón, y tiene una ligera

pendiente que facilita la circulación de la solución, en la que posteriormente es recolectada y almacenada en un tanque, la cual es recirculada nuevamente.

Por los canales recorre una película de solución nutritiva de apenas 3 a 5 mm, además a esta técnica se le conoce como sistema de recirculación continua al ser un sistema cerrado y es por esto que las raíces están en constante contacto con la solución, la que les proporciona oxígeno y nutrientes (Alvarado, *et al.*, 2001)

3.2.5 Etapas del manejo

Para obtener un óptimo desarrollo, se deben seguir ciertas etapas, en los que se incluyen el manejo de ciertos factores así como también los medios y las etapas de producción (Marulanda, 2003).

3.2.5.1 Los contenedores

FAO (2000), señala que en hidroponía se trabaja con los contenedores porque son sistemas cerrados donde se controla mejor la alimentación de la planta por medio del riego y que los recipientes y contenedores están de acuerdo con el espacio disponible y las posibilidades de cada persona o grupo.

Fernández (2014), dice que los tipos de recipientes y contenedores que se pueden usar o construir deben estar de acuerdo con el espacio disponible, las posibilidades técnicas y económicas en conjunto con las necesidades y aspiraciones de progreso y desarrollo.

Castañeda (1997), agrega que se puede usar cualquier recipiente como: canastos, vasos, botellas, mangas de plástico, cajas de madera o de plástico, llantas, todo relacionado según el espacio y recursos económicos con que se cuente.

El plástico a utilizar debe ser de color negro para impermeabilizar el contenedor, debe ser de calibre 0,10 cm, su función es evitar el humedecimiento y pudrición de la madera e impedir que se pierdan los nutrientes rápidamente. El color negro es para evitar la formación de algas y para dar mayor oscuridad a la zona de las raíces. El plástico nunca debe colocarse sobre el piso, a menos que se hayan

barrido de éste todas las asperezas que pudieran perforarlo o que esté forrado con periódicos viejos (Marulanda, 2003).

Carrasco (1996), señala que al usar el sistema NFT, que consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva, considerado un sistema hidropónico estricto, es recomendable utilizar canales de sección rectangular, ya que ésta permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo del canal, además se requiere que la superficie de los canales sea lisa para facilitar el rápido desplazamiento de la solución a través del canal de cultivo.

3.2.5.2 Preparación de los almácigos

El almácigo no es otra cosa que un pequeño espacio al que le damos condiciones adecuadas (óptimas) para garantizar la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas, además de tener un cuidado inicial especial para que no existan problemas en el desarrollo de las plantas (Tapia, 1993).

FAO (2000), dice que para preparar un buen almácigo el sustrato debe ser suave, limpio y homogéneo y no puede haber partículas muy grandes o pesadas. Previo a la siembra, se debe realizar una nivelación, para que al trazar los surcos o establecer los orificios, las semillas no queden unas más profundas que otras, para obtener un nacimiento y desarrollo inicial uniforme.

Ubillus (2000), recalca que para mantener la base de un cultivo hidropónico, no se deben hacer almácigos en tierra para luego trasplantarlos a sustratos hidropónicos es por esto que las plantas que se van a trasplantar en hidroponía se deben hacer en los sustratos sólidos mencionados anteriormente.

Luego de sembradas las semillas, con la palma de la mano se presiona suavemente el sustrato para expulsar el exceso de aire que pueda haber quedado alrededor de la semilla y aumentar el contacto de la misma con el sustrato (Figura 1), luego se riega nuevamente y se cubre el almácigo con papel de periódico en

épocas normales y con papel más un plástico negro en épocas de temperaturas muy bajas, para acelerar un poco la germinación (Marulanda, 2003).



Figura 1. Preparación de una almaciguera para la siembra

Fuente: Propia (2014)

Carrasco (1996), agrega otro tipo de preparación de almácigos, que consiste en insertar la semilla dentro de un cubo de poliuretano de baja densidad, como lo muestra la Figura 2.



Figura 2. Almaciguera de lechuga en cubos de poliuretano

Fuente: Murillo (2010)

3.2.5.3 Trasplante

En general, las plantas cultivadas en cualquier tipo de contenedor son llevadas al sistema definitivo de establecimiento cuando éstas poseen 5 hojas verdaderas, sin considerar el primer par de hojas embrionarias llamadas cotiledones. En este estado de desarrollo, las plantas cuentan con raíces lo suficientemente largas para estar en contacto con la solución nutritiva Recirculante y así absorber los elementos nutritivos y agua combinados (Ubillus, 2000).

Por otra parte Rodríguez (2002), afirma que a las cuatro semanas de germinada la semilla o cuando hayan alcanzado el estado de 4 a 5 hojas verdaderas se procede al trasplante al sistema definitivo de cultivo.

Cuando el almácigo se realiza sobre un cubo de poliuretano, este se trasplanta en forma directa al plumavit o poliestireno, cuando se trata del sistema de raíz flotante o directamente sobre el sustrato (Furlani, 1997).

Marulanda (2003), señala que cuando el almácigo se ha realizado sobre un sustrato sólido, se lavan las raíces, y se inserta en una espuma de goma que rodea el cuello, y le da sostén sobre el sustrato, o en el plumavit, si el sistema es raíz flotante (figura 3).



Figura 3. Forma como se trasplantan las plántulas del almácigo a raíz flotante, la espuma sujeta el cuello de la plántula

Fuente: Propia (2014)

4. LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en los predios de la Universidad Mayor de San Andrés en el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía, en la carpa de la materia de horticultura.

SENAMHI (2014), la zona de Cota Cota está situado en la Provincia Murillo del departamento de La Paz a 14 km de la sede de gobierno con una altitud de 3445 m.s.n.m. y a 16° 32' 04'' Latitud Sur y 68° 03' 44'' Longitud Oeste, (figura 4).

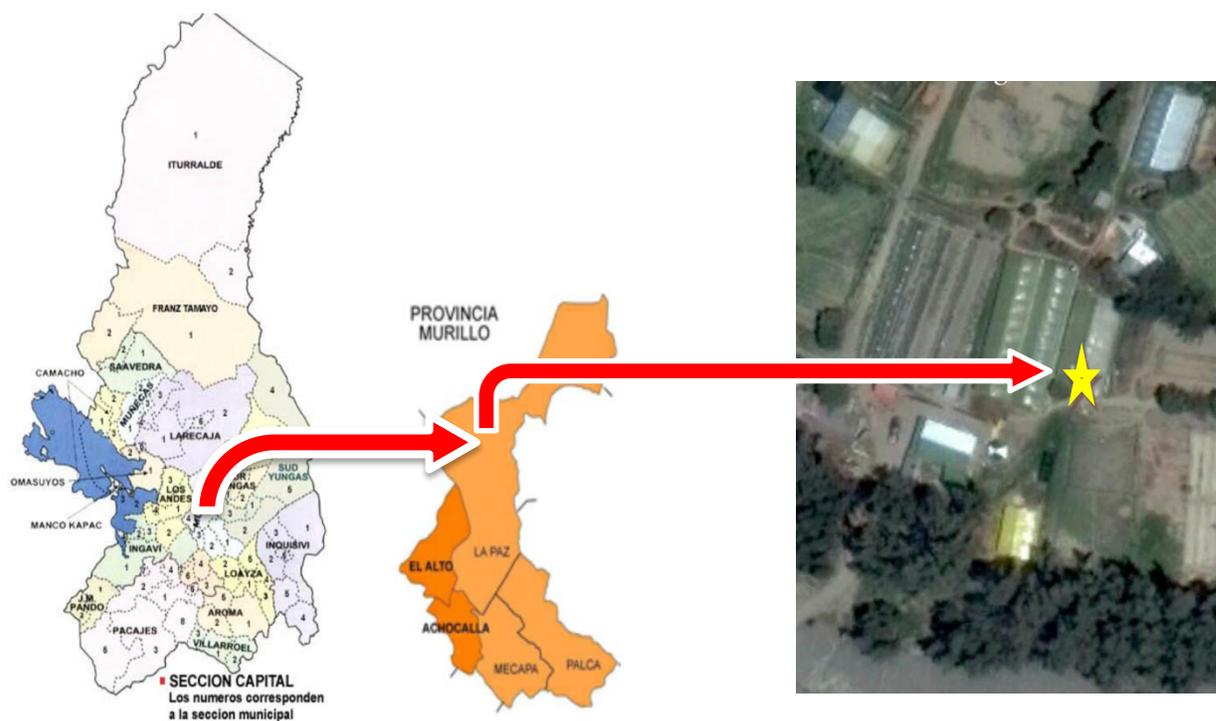


Figura 4. Ubicación de la investigación realizada

4.2 Características agroecológicas

4.2.1 Clima

La zona se caracteriza por ser seca durante gran parte del año, pues la estación de lluvias se concentra con altas precipitaciones en los meses de diciembre hasta febrero, la precipitación anual de la zona está alrededor de los 488,53 mm año. Las temperaturas máximas se registran en los meses de octubre y noviembre que alcanzan 21,5 °C, las temperaturas mínimas alcanzan su máximo valor en los meses de junio y julio llegando a registrar -0,6 °C, y una temperatura media de 11,5 °C. Los fuertes vientos se presentan en el mes de agosto como en todo el Departamento (SENAMHI, 2014).

4.2.2 Suelos

Los suelos son arcillosos y franco arcillosos con pH ligeramente alcalino, con baja porosidad y elevada compactación, impidiendo la infiltración del agua y su almacenamiento, con un alto riesgo de erosión. La capa arable es poco profunda estos suelos son muy aptos para el cultivo de alfalfa y otras leguminosas (Chilón, 1997).

4.2.3 Vegetación

La vegetación predominante en el Centro Experimental Cota Cota está conformada por especies silvestres, especies cultivables (sistema intensivo e extensivo), frutales, especies arbóreas y arbustivas.

Entre las especies arbóreas se encuentran especies como: Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Ciprés (*Cupressus macrocarpa*), Álamo (*Pupulos deltoides*), Aromo negro (*Acasia melanoxilon*); entre los arbustos tenemos la Retama (*Spartium junceum*.); arbustos de origen andino, de mediana estatura como la Chilca (*Baccharis incanun*), considerado como un elemento típico de la Puna; entre las herbáceas está el Kikuyo (*Penisetum sp.*), Tarwi silvestre (*Lupinus altimontanus*). Otras especies: Alfa alfa (*Medicago sp.*), Tréboles (*Trifolium sp.*) que son fijadores de nitrógeno (Zeballos, 2000).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material biológico

Se utilizaron seis variedades de lechuga, las cuales se encuentran en el mercado semillero local de la ciudad de La Paz y son las siguientes:

- Lechuga Morada
- Lechuga Crespa punta Morada var. Prizehead
- Lechuga Waldmann Green var. Caps
- Lechuga Red Salad Bowl
- Lechuga Romana
- Lechuga Maravilla 4 estaciones

5.1.2 Materiales de campo

- Picota
- Martillo
- Llaves de plomería
- pH metro
- Conductímetro
- Cinta métrica
- Flexo metro
- Pala
- Carretilla
- Remachadora
- Alicata
- Destornillador

5.1.3 Materiales para la construcción de sistema hidropónico

- Listones de madera 2 inch
- Clavos
- Tornillos
- Remaches
- Serrucho
- Pintura
- Tubos PVC de 3 inch
- Llaves de paso 2 inch
- Poli tubo
- Plastoform
- Tanque de 300 L
- Temporizador
- Bomba de 1 HP
- Piezas de sujeción de fierro tipo "J"
- Semisombra al 50%

- Nivel
- Tapones
- Engrampadora
- Esponja

5.1.4 Insumos para la preparación del sustrato en almaciguera

- Cascarilla de arroz
- Arena fina
- Turba
- Contenedor

5.1.5 Sales para la preparación de la solución nutritiva

- Nitrato de amonio $\text{NH}_4 (\text{NO}_3)$
- Nitrato de potasio KNO_3
- Nitrato de calcio $\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$
- Sulfato de magnesio MgSO_4
- Plan prod canada 15-15-30 +micronutrientes

5.1.6 Materiales de gabinete

- Computadora laptop
- Cuadernos y hojas de papel
- Cámara Fotográfica
- Libros y tesis de grado
- Hoja bond tamaño carta
- Flash Memory
- Fotocopias
- Bolígrafo

5.1.7 Material de laboratorio

Phmetro, Conductivímetro, Balanza analítica, Jeringas de 10 ml, cajas petri y algodón.

5.1.8 Instrumentos de meteorología

Termómetro de máxima y mínima.

5.1.9 Insumos

Productos naturales para el control de las plagas.

5.2 Metodología

5.2.1 Procedimiento experimental

5.2.1.1 Construcción del sistema NFT

Se construyeron 2 estructuras tipo "A" de madera de dimensiones de 18 m de largo, por 1,5 m de ancho de la parte abierta. Seguidamente se instalaron los tubos PVC con una pendiente de 1.5% como muestra en la figura 5.



Figura 5. Sistema hidropónico NFT

5.2.1.2 Instalación del sistema de distribución o sistema de riego

Posteriormente se conectó el sistema de suministro de solución nutritiva para las lechugas como ser un tanque de 500 L, la llave de paso que viene de la bomba, seguidamente el politubo de 1 inch, los emisores de 6 mm, los microtubos de 6 mm. Consecutivamente se ubicó el sistema de desagüe y retorno de la solución nutritiva al tanque, (figura 6).



Figura 6. Sistema de distribución para el sistema NFT

5.2.1.3 Construcción de contenedores tipo piscina

Se construyeron 4 contenedores de madera (Figura 7) de dimensiones de 0,60 m de ancho por 1,5 m de largo y 0,15 m de profundidad, posteriormente se procedió al revestido con agrofílm para contener la solución nutritiva.



Figura 7. Contenedor de micro piscina

Consecutivamente se construyeron 2 contenedores de madera (figura 8) de dimensiones 0,60 m por 0,60 m, esto para la almaciguera de sustrato inerte.



Figura 8. Contenedor de almaciguera

5.2.1.4 Preparación de sustrato para la almaciguera

Para la preparación del sustrato sólido se utilizó una mezcla (relación: 4:3:3 en volumen) de: 40% de arena fina, 30% de cascarilla de arroz y 30% de turba.

En tal situación se prosiguió de la siguiente manera: Una vez contando con los sustratos sólidos y que estén libres de cualquier material indeseable se lavó la arena fina en una carretilla, eliminando la tierra contenida. La cascarilla de arroz fue

impuesta a un proceso de fermentación durante 7 días remojada en una bolsa cerrada; posteriormente se lavó con abundante agua, subsiguientemente se mezcló la arena, la cascarilla de arroz y la turba tal como se muestra en la Figura 9; por último se vació en los contenedores.



Figura 9. Desarrollo de la preparación del sustrato

5.2.1.5 Desinfección del sustrato

Se realizó la desinfección del sustrato en fecha (28/05/2014) utilizando agua a punto de ebullición, donde se echaron 10 L en una almaciguera de 1 por 1 m.

5.2.1.6 Siembra y riego

La siembra se realizó en la almaciguera construida el día 04/07/2014, con la desinfección previa del sustrato, luego se abrió pequeños surcos con ayuda de una regla a profundidad de 0,5 cm y un distanciamiento de 5 cm entre surcos y la distancia entre semillas fue de 0,5 cm.

La cantidad de semilla que se utilizó es aproximadamente 120 unidades por cada variedad como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Siembra en la almaciguera

El riego se lo hizo con ayuda de una aspersora de la siguiente manera: A partir del día de la siembra se lo rego con agua potable durante los primeros 7 días (11 de julio), las cuales emergieron un 90% de su totalidad. Posteriormente el día 8 se lo rego con solución nutritiva al 50% de concentración, durante 13 días, en donde ya formaron hojas verdaderas la cual se encontraban listas para el trasplante (24 de julio).

5.2.1.7 Primer trasplante

Una vez que se desarrollaron los plantines durante 21 días en la almaciguera se procedió al trasplante en la fecha 25 de julio, en una esponja de baja densidad de 2 por 2 cm y una altura de 4 cm, donde se cortaron esponjas en forma de cubo.

Previo a eso se desinfecto la esponja con vinagre para eliminar los elementos tóxicos retenidos por la fabricación de la espuma, y luego se las enjuaga con abundante agua para eliminar el vinagre.

Luego se hicieron aperturas en medio de las esponjas hasta la mitad. (Figura 11) se sacó cuidadosamente de la almaciguera con ayuda de una espátula, posteriormente se lavó afinadamente las raíces con agua, para luego llevarlos a la esponja, consecutivamente se lo transporto a una germinadora de plastroform para luego llevarlo a la piscina flotante (contenedor de madera de 0,6 por 1,5 m) la cual ya contenía la solución nutritiva al 100%, se cargó la solución nutritiva a 6 cm de altura con un volumen de 60 L de solución nutritiva.



Figura 11. Primer trasplante a la piscina flotante

En dicho sistema de piscina flotante estuvo 15 días, (25 de julio hasta el 8 de agosto) en donde se suministraba solución nutritiva ya oxigenada, esto por la circulación de la solución del tanque hasta la piscina, la cual se hizo una conexión previa del tanque con la bomba y la piscina.

5.2.1.8 Segundo trasplante y definitivo

El segundo trasplante y definitivo se lo lleva al sistema NFT donde se hizo a los 15 días transcurridos luego del primer trasplante, (08 de agosto) cuando los plantines contaban con un porte adecuado esto tanto en las raíces como en las hojas.

El trasplante se efectuó el 09 de agosto durante el ocaso, esto para que los plantines no sufran estrés por deshidratación; se colocaron en los canales de tubos PVC con un distanciamiento de 20 cm entre plantines, previo a eso se hicieron hoyos en el plastiform de los canales cada 20 cm (figura 12).

En tal efecto los plantines permanecieron en el sistema 35 días hasta la cosecha, (12 de septiembre).



Figura 12. Proceso del segundo trasplante y definitivo

5.2.1.9 Control del pH

El control del pH se lo tomo diariamente por la mañana y por la tarde utilizando el respectivo aparato como ser: pH metro.

El pH recomendado para la producción de hortalizas según Resh (1987), y "La Guía del Huerto Hidropónico (2000), es de 6,0 a 6,5 valor óptimo para la absorción de nutrientes, y para la absorción óptima de las lechugas es de 6,2 a 6,5 de pH.

En este ensayo el pH inicial después de preparar la solución de nutrientes en el Tanque fue de 6.4 lo cual es aceptable para la producción.

A medida que el nutriente va circulando y van pasando los días, se vio que al 4° día el pH descendía hasta llegar a 4 por lo cual se controló añadiendo Soda cáustica (Hidróxido de Potasio), 20 g para 500 L, cada vez que bajaba el pH a 5,5 lo cual lograba mantener el pH de 6,0 a 8,5 por el lapso de 12 horas, (Figura 13)

5.2.1.10 Control de la Conductividad Eléctrica (CE)

El de la conductividad eléctrica se lo tomo diariamente por la mañana y por la tarde utilizando el respectivo aparato como ser: conducti-metro.

La conductividad eléctrica de la solución al inicio de la preparación y antes de circularlo fue de 2200 ds/cm, a una temperatura de solución de 12 °C medidos en el tanque, después de circularlo se vio que la conductividad bajaba entre 100 a 150 ds/cm día y al décimo u onceavo día la conductividad llegaba a 800 a 1200 ds/cm, lo cual nos indica que las plantas consumieron las sales requeridas a mayor ritmo.

Cuando la conductividad bajaba a menos de 1200 ds/cm, empezaban a presentarse deficiencias nutricionales, como maleamientos, quemaduras en las puntas de raíces y otras. Por tanto se decidió recambiar el nutriente al llegar la conductividad eléctrica a los 2200 ds/cm, (Figura 13).



Figura 13. Control del pH y CE

5.2.1.11 Toma de datos

Se tomaron 5 muestras al azar de cada Unidad Experimental, se evaluaron todas las variables necesarias para el presente estudio, (Figura 14).



Figura 14. Toma de datos

5.2.1.12 Labores culturales

Entre las labores realizadas en el proceso de la siembra, crecimiento, hasta la cosecha fueron las siguientes:

a. Labores culturales en la siembra

La escarda

Se realizó esta labor luego de la emergencia de los plantines, dos veces por semana con ayuda de una regla en donde al aplicar riego el sustrato se va compactando y además se hace una especie de poros para la penetración de la solución nutritiva.

b. Labores culturales en el crecimiento

Refalle

Esta práctica se realizó con el objetivo de reponer aquellos plantines que no llegaron a prender, tanto en las piscinas flotantes como en el sistema NFT, utilizando platines de la fase inicial de crecimiento.

Prevención fitosanitaria

Se realizaron revisiones periódicas cada 4 días, hoja por hoja en las cuales no se manifestó la presencia de plagas al inicio del trasplante definitivo, posteriormente se visualizó la presencia de pulgones, (*Myzus persicae*), en un 5% del total de las plantas. Estos afidos aparecen normalmente agrupados en colonias sobre cultivos suculentos en la base y el envés de la hoja.

Esta plaga, se logró controlar manualmente como también con la pulverización de productos orgánicos como ser soluciones de tabaco concentrado.

Control del descenso de la temperatura

El control del descenso de la temperatura se lo hizo mediante botellas Pett pintadas de color negro, las cuales se ubicaron en los extremos de la carpa solar, en las ventanas y en el medio de las estructuras armadas, en donde la botellas durante el día captaban el calor de la radiación y la temperatura ambiente, y durante la noche se enfriaban lentamente y así se evitaban los descensos bruscos de la temperatura durante la noche, (Figura 15).



Figura 15. Botellas pett para evitar el descenso brusco de temperatura

5.2.1.13 Cosecha

La cosecha se realizó a los 70 días después de la siembra, cuando las plantas tenían ya un tamaño comercial similar al producido en tierra, se hizo la respectiva toma de datos tanto de peso en cosecha y el peso en bolsa si las partes desechadas torna de hojas viejas y luego su posterior comercialización, (Figura 16).



Figura 16. Cosecha por variedad

5.2.1.14 Post cosecha

Luego de la cosecha, manualmente se embolsaron en bolsas de la facultad de agronomía, (Figura 17) donde se introdujeron 2 a 3 lechugas por bolsa (400 g aproximadamente), y se procedió a la venta en el mercado popular de Achumani.



Figura 17. Embolsado de las lechugas

5.2.1.15 Registro de Temperatura

Para el registro diario de temperaturas mínima y máxima de la carpa, se utilizó un termómetro realizando la lectura a las 14:00 p.m., analizando los datos con los promedios semanales y mensuales y así poder conocer la influencia de estos parámetros en el desarrollo del cultivo.

5.2.2 Diseño experimental

Las variedades de lechuga se evaluaron utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 6 tratamientos y 3 repeticiones, en la carpa solar de la materia de horticultura.

5.2.3 Modelo Lineal Aditivo (Yacob, 2013)

$$Y_{ij} = \mu + \epsilon_i + T_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Rendimiento en t/ha de materia verde observado en una unidad experimental en el i- esimo bloque donde se aplicó la j-esima variedad de lechuga

i = 1, 2, 3, Bloques

j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, Variedades de lechuga

μ = Media general

ϵ_i = Efecto aleatorio del i-esimo bloque

T_j = Efecto fijo del j-esimo tratamiento

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental

Los datos que se obtuvieron en el campo se ordenaron y sistematizaron para el análisis estadístico de acuerdo al modelo adoptado, se realizó el análisis de varianza (ANVA) para probar la significancia del efecto fijo.

Los resultados de las variables de respuesta, fueron procesados con el paquete estadístico SAS, SPSS, INFOSTAD. Para el análisis y discusión e interpretación

para poder alcanzar los objetivos planteados y de esta manera llegar a las conclusiones del trabajo de investigación.

5.2.3.1 Croquis del área experimental

Las características del área experimental, como la distribución de los tratamientos se muestran en la figura 18.

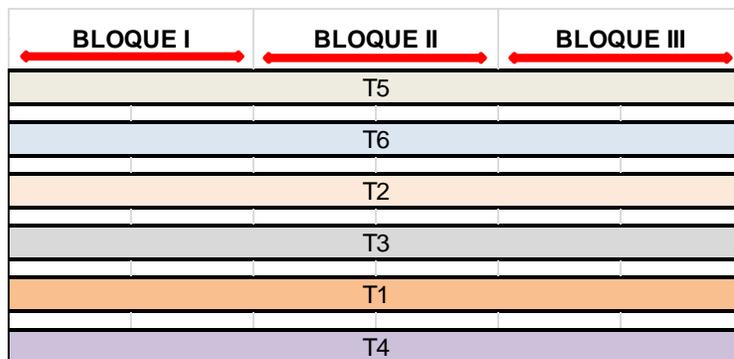
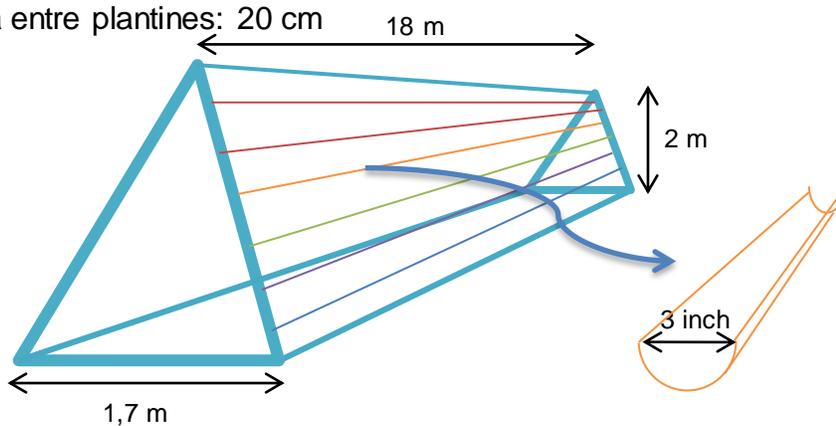


Figura 18. Distribución de los tratamientos

- T1: Lechuga Red Salad Bowl
- T2: Lechuga Waldman Green var. Caps
- T3: Lechuga Maravilla 4 estaciones
- T4: Lechuga Romana Blanca Hortelana
- T5: Lechuga Crespa punta Morada var. Prizehead
- T6: Lechuga Crespa Morada

El área del cultivo presento una pendiente de 1,5% con las siguientes características:

- Área total de la carpa: 200 m²
- Área total de la estructura tipo "A": 30,6 m²
- Área neta (una cara): 36 m²
- Área del largo de un tubo: 137,16 m²
- Distancia entre tubos PVC: 30 cm
- Distancia entre plantines: 20 cm



5.3 Variables de respuesta

5.3.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se lo realizó en el laboratorio de biotecnología, donde se contó las semillas germinadas de un total de cien sembradas de cada una de las variedades estudiadas.

5.3.2 Porcentaje de emergencia

El porcentaje de emergencia se tomó a los 7 días después de la siembra, la cual se contaron los plantines que emergieron de cada variedad, en cada surco, referentes a cuantas inicialmente sembramos.

5.3.3 Numero de hojas

Se procedió al conteo directo de las hojas libres, de cada planta, esto transcurrido 35 días después de la siembra en el segundo trasplante y definitivo donde se llevaron los plantines al sistema NFT, y posteriormente se tuvo un conteo de hojas semanalmente, por último se contaron el número de hojas ya en la cosecha.

5.3.4 Altura de planta

En tal efecto para determinar la altura de la planta se realizaron la medición de 5 plantas al azar por unidad experimental, tomando en cuenta la longitud desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja superior, utilizando una regla y se tuvo la medición semanalmente.

5.3.5 Peso de la planta (materia verde)

Para determinar el peso de la planta se realizaron la extracción de 3 plantas al azar por unidad experimental, y por variedad, en el momento de la cosecha, tomando en cuenta la raíz de cada variedad.

5.3.6 Rendimiento por unidad de superficie (kg/m²)

En tal evaluación se pesaron las muestras de cada tratamiento. Las unidades utilizadas fueron g/planta/m², la cual fue llevada a kg/m², considerando el número de plantas que entran en cada tubo PVC de todo el sistema.

5.4 Análisis Económico

El análisis económico consiste en el cálculo del Beneficio Neto y las relaciones Beneficio Costo (B/C) en base a los rendimientos y costos obtenidos por cada tratamiento.

El análisis económico de la producción hidropónica en el sistema recirculante, se realizó de acuerdo con la metodología del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988), el cual consiste en el cálculo del rendimiento de las variedades de lechuga, para tener el beneficio bruto. Se calcularon los costos de producción a partir de los costos fijos y costos variables.

5.5 Análisis químico del agua

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

El análisis químico de agua se realizó en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), UMSA – Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología y los resultados fueron los siguientes (anexo 14).

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

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Fluctuaciones de temperatura

En el presente estudio se tomaron datos de temperatura en dos posiciones de la estructura tipo "A", una en la parte inferior y la otra en la parte superior, en la cual se tomó un promedio de ambas temperaturas (grafico 1).

6.1.1 Fluctuaciones de temperatura promedio

Las temperaturas máximas y mínimas en los meses de desarrollo del cultivo estuvieron homogéneas, obteniéndose como promedio de ambos termómetros tanto de la parte inferior como en la parte superior, obteniendo una temperatura máxima promedio de 36,2 °C y una temperatura mínima promedio de 4,03 °C.

Por otra parte las temperaturas optimas en la que se desarrolla el cultivo de la lechuga es de 18 a 20 °C, tolera una máxima de 30 °C y una mínima de -6 °C (Casseres, 1984).

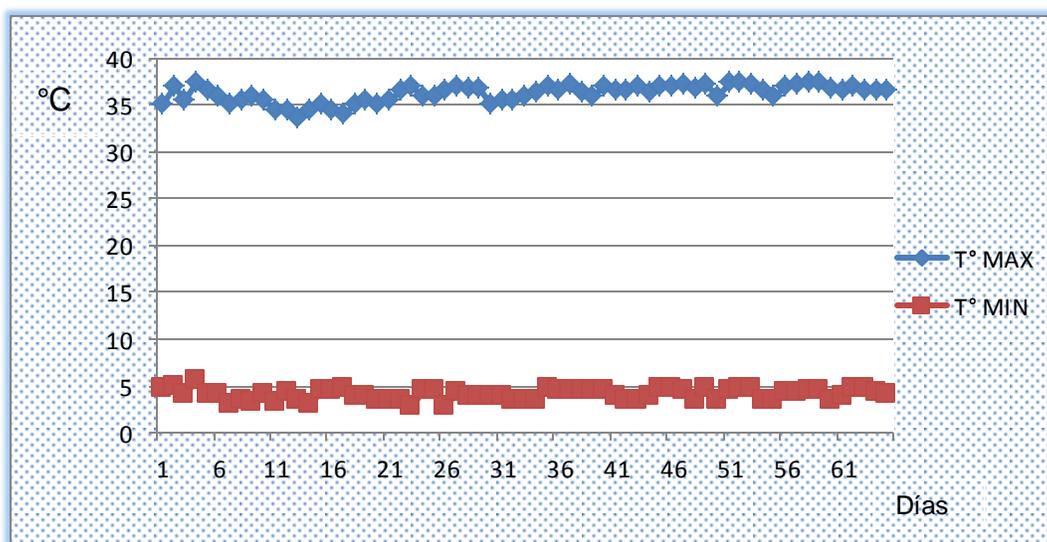


Gráfico 1. Fluctuaciones de temperatura promedio

Bajo estos rangos de temperatura, se pudo observar que las temperaturas máximas exceden a lo tolerante por la lechuga, por otra parte las temperaturas mínimas no exceden a lo tolerante por la lechuga.

Al respecto Aruquipa (2010), obtuvo como promedio una máxima de 37,19 °C y una mínima de 8,60 °C y afirma que bajo estos rangos de variaciones en temperatura no afectaron a la asimilación de nutrientes del cultivo y en consecuencia no se observaron alteraciones ni deficiencias visibles en las plantas. Este trabajo de estudio se realizó en la carpa solar de la Unidad Educativa “Simón Bolívar” de El Alto; el modelo de carpa es de doble agua o dos caídas, con una superficie total de 100 m², de 20 m de largo y 5 m de ancho, la superficie útil fue de 60 m².

A comparación de los datos obtenidos en donde la máxima llegó a 36,2 °C y la mínima a 4,03 °C, esto se especula que fue por la época de estudio que fue en invierno, como también se sospecha que fue por las condiciones de la carpa, la cual se veía con deterioros en general, como también se tuvo un promedio de dos termómetros uno en la parte inferior y otra en la parte superior de la estructura, la cual los datos obtenidos de la parte inferior fueron menores a comparación con el termómetro de la parte superior.

6.2 Respuesta Fisiológica

6.2.1 Días a la madurez de cosecha

En el cuadro 8, se observan los días de desarrollo desde la siembra hasta la cosecha, donde todas las variedades tuvieron el mismo día de siembra, trasplante, segundo trasplante definitivo y cosecha, como también tuvieron las mismas condiciones ambientales.

Se realizó lo anterior para saber cuál de estas variedades se adecua mejor al sistema y cual presentó mejores resultados en cuanto a la producción.

Cuadro 8. Ciclo de producción

VARIEDAD	FECHA DE SIEMBRA	FECHA DE EMERGENCIA	FECHA DE 1º TRASPLANTE	FECHA DE 2º TRASPLANTE DEFINITIVO	FECHA DE COSECHA	DIAS A LA COSECHA
RED SALAD BOW	04/07/2014	09/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70
WALD MAN GREEN	04/07/2014	07/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70
MARAVILLA 4 ESTACIONES	04/07/2014	07/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70
ROMANA	04/07/2014	08/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70
PUNTA MORADA	04/07/2014	09/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70
MORADA	04/07/2014	08/07/2014	25/07/2014	08/08/2014	12/09/2014	70

6.3 Variables agronómicas

En base a los datos obtenidos en el trabajo de campo, las variables agronómicas se evaluaron el mismo día, las seis respectivas variedades de lechuga, cada siete días, durante todo su desarrollo. Luego de realizar los análisis estadísticos de los mismos, se logran los resultados de las variables de respuesta del sistema hidropónico recirculante, que se muestran a continuación.

Cuadro 9. Resultados obtenidos de variables de respuesta

VARIEDAD	PORCENTAJE DE GERMINACION (%)	PORCENTAJE DE EMERGENCIA (%)	NUMERO DE HOJAS	ALTURA DE PLANTA (cm)	PESO DE PLANTA (gr)	RENDIMIENTO COMERCIAL (Kg/m ²)
RED SALAD BOW	80,00	75,00	18,20	21,59	185,54	4,64
WALD MAN GREEN	98,00	99,00	17,27	22,87	191,77	4,79
MARAVILLA 4 ESTACIONES	99,00	99,00	23,93	29,07	202,81	5,07
ROMANA	75,00	75,00	20,60	24,33	184,14	4,60
PUNTA MORADA	78,00	75,00	18,07	20,53	176,52	4,41
MORADA	85,00	80,00	17,53	22,40	186,50	4,66

6.3.1 Porcentaje de germinación

Al final del estudio se calculó el porcentaje de germinación de las seis variedades, las cuales tuvieron distintos porcentajes, el estudio se realizó en el laboratorio de biotecnología, en donde las seis variedades tuvieron las mismas condiciones tanto en temperatura como también un medio de germinación.

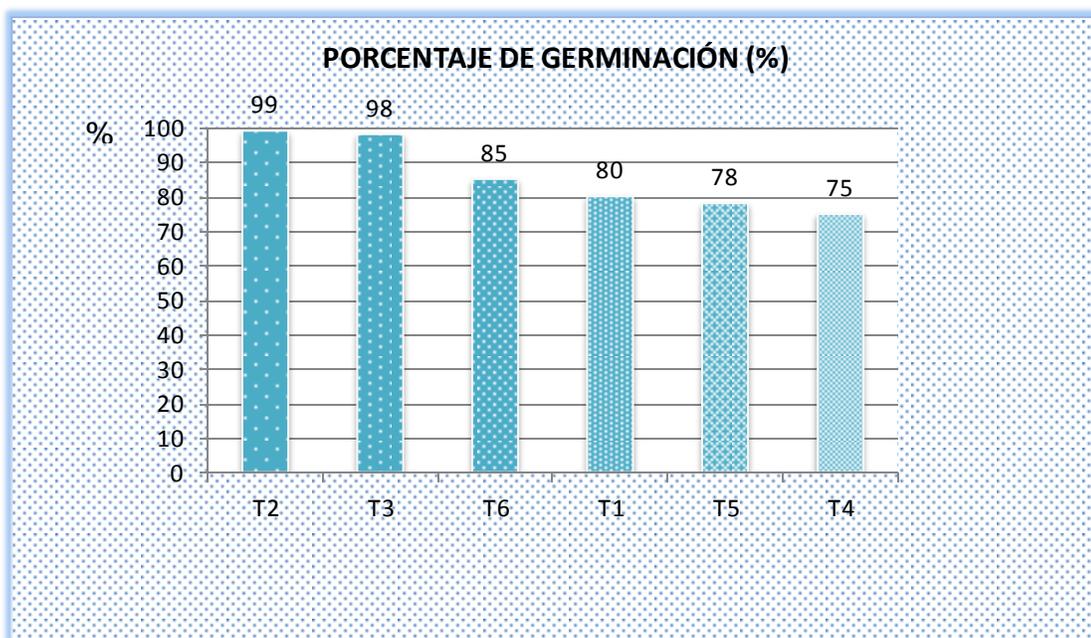


Gráfico 2. Porcentajes de germinación de las variedades en estudio

Según Galván, *et al.* (2008), La germinación es inhibida por encima de 28 – 30 °C, temperatura optima es de 18 – 21 °C, temperaturas máximas dependen del cultivar la termodormición es reversible.

La variedad con un buen porcentaje de germinación (grafico 2) fue la variedad Maravilla Cuatro Estaciones con un 99%, como también la variedad Waldmann Green var. Caps con un 98%; seguido por la variedad Crespa Morada con un 85%; como también la variedad Red Salad Bow con un 80%, seguido por la variedad Crespa Punta Morada var. Prizehead con un 78%, finalmente la variedad Romana Blanca Hortalena con un 75%.

Al respecto Intipampa (2014), encontró un porcentaje de germinación del cultivar Waldmann Green con 96,3% seguida por el cultivar Grand Rapids “Bonanza” con 94% y por debajo con 90.6% para Grand Rapids “Topseed”.

Los valores obtenidos en la presente investigación son aceptables, ya que de acuerdo a Giaconi (1999), no debe ser menor del 70%, para semillas de baja capacidad germinativa y del 90% para semillas de elevada capacidad, como es el caso de la lechuga.

Por otra parte se obtuvo un mayor porcentaje de germinación con la variedad Maravilla 4 Estaciones, en donde se menciona en la caja de semillas que las semillas de lechuga germinan mejor a baja temperatura (12-15 °C), por esa parte esta variedad resulto con las mejores condiciones para ser la superior en porcentaje de germinación a comparación con las demás variedades estudiadas.

A diferencia de la variedad Romana Blanca Hortalena que fue la inferior en el porcentaje de germinación, esto se especula que fue por las condiciones de temperatura de la almaciguera, ya que en su recipiente de semilla menciona claramente que esta variedad tiene una temperatura promedio para la germinación de 21-25 °C, en donde no se alcanzó a dichas temperaturas.

6.3.2 Porcentaje de emergencia

Durante el estudio realizado se evaluó el porcentaje de emergencia de las seis variedades, en tal efecto se tuvieron distintos porcentajes, en donde la evaluación se realizó en la almaciguera construida, la cual en el momento de la siembra en el centro se demarco entre las hileras una pequeña área donde se pusieron 100 semillas para ser estudiadas, en donde todas fueron tratadas con las mismas condiciones tanto en el riego como en la temperatura.

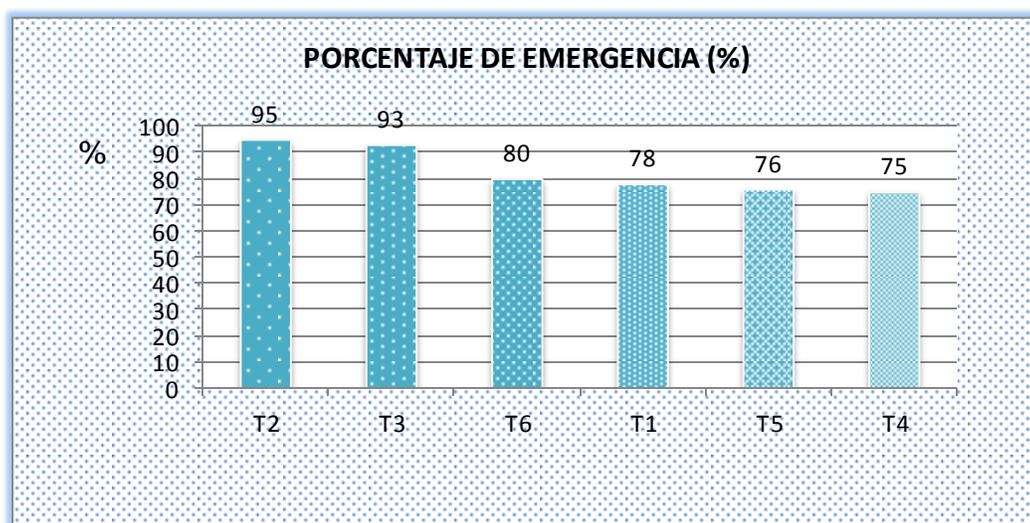


Gráfico 3. Porcentaje de emergencia de las variedades en estudio

Por su parte Serrano (2000), señala que el porcentaje de emergencia no debe ser menor al 80%, para este tipo de cultivo.

La variedad con un buen porcentaje de emergencia (grafico 3) fue la variedad Waldmann Green var. Caps con un 95%, como también la variedad Maravilla Cuatro Estaciones con un 93%; seguido por la variedad Crespa Morada con un 80%; como también la variedad Red Salad Bow con un 78%, seguido por la variedad Crespa Punta Morada var. Prizehead con un 76%, finalmente la variedad Romana Blanca Hortalena con un 75%.

Por otra parte posiblemente existieron en cierto grado problemas de termolatencia en etapa de emergencia para los tres cultivares que tuvieron resultados debajo del 80% de emergencia, también por registrarse temperaturas por debajo de las recomendadas por Giaconi (1999), quien señala que los mayores porcentajes de emergencia para la mayoría de los cultivares de lechuga, se presentan entre 15 y 20 °C, existiendo problemas de termolatencia a temperaturas mayores a los 25 °C y menores a 10 °C.

Por otra parte Intipampa (2014), encontró porcentajes de emergencia que fue del 91,2%, correspondiente al cultivar Grand Rapids “Bonanza”, seguida por el cultivar Waldmann Green, con 85% y el menor porcentaje de emergencia con 83,3% fue para el cultivar Grand Rapids “Topseed”. Estos resultados de un buen porcentaje de emergencia se supone que fue por alcanzar las temperaturas óptimas para la emergencia, a comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación que no se lograron alcanzar debido al descenso de temperatura por la noche que en cierta manera inhibió en el porcentaje de emergencia.

6.3.3 Numero de hojas

Según el grafico 4, las diferencias en número de hojas promedio se atribuyen a las características morfológicas de cada variedad y el resultado del estudio se muestra a continuación.

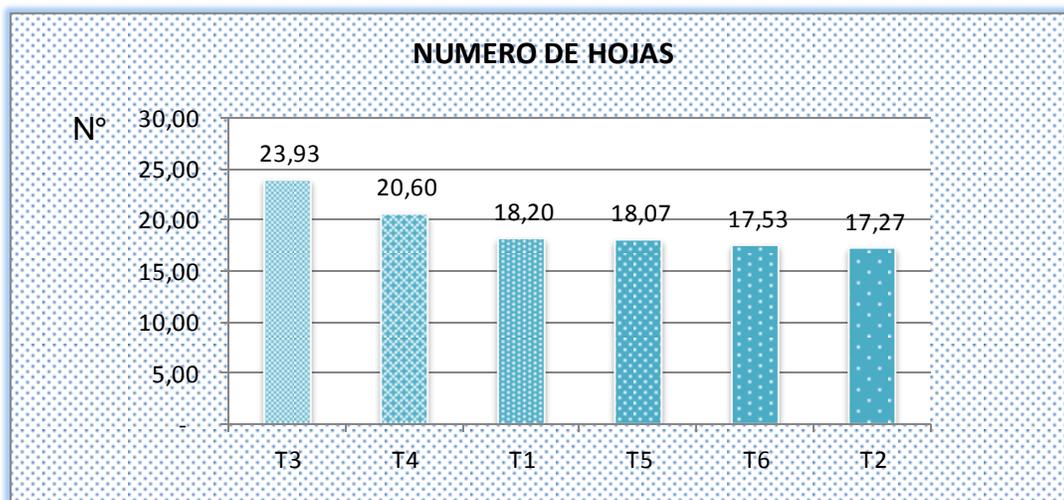


Grafico 4. Numero de hojas promedio de las variedades en estudio

En este sentido la variedad Maravilla 4 estaciones (T3) presenta mayor número de hojas (23,93 hojas), como también de hojas largas y anchas delicadas; seguido por la variedad (T4) Romana Blanca Hortanela (20,60 hojas), estas hojas eran más largas y angostas a comparación de las variedades estudiadas; seguidamente las variedades (T1) Red Salad Bow (18,20 hojas), (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead (18,07 hojas) y Crespa Morada (17,53 hojas), por último la variedad (T2) Waldmann Green con un menor número de hojas (17,27 hojas), pero con un buen porte a diferencia de las variedades estudiadas, lo que se traduce en mayor peso foliar.

Al respecto Aruqipa (2008), obtuvo resultados de 18 hojas para el cultivar Grand Rapids y 19 hojas para el cultivar Waldmann Green, esto en la ciudad de El Alto.

Por su parte García (2006), en su estudio con el cultivo de lechugas crespas (TBR) y el uso de fertilizantes químicos obtuvo un promedio de 17,12 hojas por planta.

A su vez Intipampa (2014), tuvo resultados mejores en ambas comunidades (cuadro 8), presentaron diferencias mínimas entre cultivares como la Waldmann Green y Grand Rapids “Bonanza” en Bolinda, los cuales mostraron resultados de 20 y 19 hojas por planta al momento de la cosecha respectivamente y el cultivar Grand Rapids “Topseed”, fue la que presentó menor cantidad de hojas con 15 aproximadamente.

Por otra parte Urey (2007), en estudios realizados de Cochabamba obtuvo los siguientes resultados: Variedad Blanca con 23,00 hojas, variedad Crespa con 17 hojas y la variedad Romana con 17 hojas.

En la presente investigación se obtuvo resultados inferiores en la variedad Waldmann Green a comparación de estudios ya realizados, como también se obtuvo resultados superiores en la variedad Romana Blanca Hortalena.

Ávila (1998), sostiene al respecto que todos los caracteres con importancia económica en plantas son controladas por la acción de muchos genes, por efecto del ambiente y la interacción de ambos factores; de este modo el valor fenotípico de una población o un individuo dependerá de un valor genotípico y del efecto ambiental, en el cual se ha desarrollado la variedad, además de la interacción de ambos factores.

Según Truca (2002), cultivando lechugas a diferentes soluciones en el cultivo hidropónico obtuvieron lechugas con números de hojas en promedio de (15,9 – 16,5) hojas/planta, respectivamente; realizó con la variedad Romana, Crespa. Frente a estos promedios con el trabajo de investigación que se realizó cultivando en el sistema hidropónico recirculante, fue superior el promedio al número de hojas por planta que se obtuvieron.

6.3.3.1 Análisis de varianza para el número de hojas

Para una mejor evaluación del número de hojas/planta a la cosecha del cultivo de lechuga por variedades en el momento de la cosecha, se realizó el análisis de varianza, cuadro 10.

Cuadro 10 . Análisis de varianza para el número de hojas al momento de la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloques	2	1,49	0,75	1,56	0,2564 ns
Variedades	5	99,41	19,88	41,65	< 0,0001 **
Error	10	4,47	0,48		
Total	17	105,68			

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo.

El coeficiente de variación es de 3,59%, indica la confiabilidad de la información, por lo tanto significa que existe un buen manejo de las unidades experimentales.

Por otra parte el efecto de la interacción, a un nivel de significancia del 5%, presento diferencias significativas, lo que implica que estas variedades son dependientes, es decir que cada variedad respondió diferente en cuanto la ganancia de numero de hojas.

En el análisis de varianza los bloques (cuadro 10), mostraron que no hubo diferencia significativa entre los bloques ($Pr=0,2564$), por otra parte el análisis de varianza para el numero de hojas; mostro que hubo diferencia altamente significativo entre las variedades de la lechuga ($Pr=0,0001$), lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto al número de hojas.

A respecto Urey (2007), en el análisis de varianza los bloques mostraron que no hubo diferencia significativa entre bloques, por otra parte el análisis de varianza para el número de hojas; mostro que hubo diferencia altamente significativa entre las variedades de lechuga, lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto al número de hojas.

También podemos recalcar que entre bloques no hubo diferencia alguna entre las variedades de lechuga; por otra parte entre variedades de lechuga si hubo diferencia entre número de hojas, cabe decir que las variedades respondieron de diferente manera en cuanto a la ganancia de hojas por variedad.

Según Viguiola (1992), menciona que el número de hojas por planta no solo es el resultado de los nutrientes del suelo, sino también del clima, planta y manejo del cultivo; además por las bajas temperaturas la absorción de nutrientes es menor o se encuentra en estado de reposo, hasta que el suelo tenga una temperatura adecuada para reactivar a los microorganismos posterior a mineralizar los minerales para su fácil absorción de las plantas.

Por tales razones expuestas se especula que el número de hojas de cada variedad depende tanto de la genética, del ambiente, de la temperatura, y demás que se interrelacionan para un buen desarrollo del cultivo.

6.3.3.2 Comparación de promedios para número de hojas por planta

El cuadro 11, muestra la comparación de medias del número de hojas, según las variedades cultivadas, en donde la variedad Maravilla 4 Estaciones (T3) presenta mayor número de hojas (23,93) a diferencia de las otras variedades, como ser las variedades Romana Blanca Hortaneta (T4), Red Salad Bow (T1), Crespa punta morada var. Prizehead (T5), Crespa Morada (T6), Waldmann Green (T2), con 20,6; 18,2; 18,07; 17,53 y 17,27 hojas respectivamente.

Cuadro 11. Comparaciones de medias de número de hojas

VARIETADES	Medias	n	E.E.	PRUEBA TUKEY (p<0,05)
MARAVILLA 4 ESTACIONES (T3)	23,93	3	0,4	A
ROMANA BLANCA HORTANELA (T4)	20,6	3	0,4	B
RED SALAD BOW (T1)	18,2	3	0,4	C
CRESPA PUNTA MORADA var. Prizehead (T5)	18,07	3	0,4	C
CRESPA MORADA (T6)	17,53	3	0,4	C
WALDMANN GREEN var. Caps (T2)	17,27	3	0,4	C

En cuanto a los resultados obtenidos en el número de hojas se pudo evidenciar que la variedad (T3) Maravilla 4 Estaciones tuvo una mayor cantidad de hojas, esto se debe a la morfología de dicha variedad, como también a un buen desarrollo en el

sistema hidropónico, siendo esta la que más resaltaba de las 6 variedades estudiadas.

Por otra parte el que tuvo un menor número de hojas fue la variedad Waldmann Green (T2), esto también se debe a la morfología de dicha variedad, en donde se pudo evidenciar un crecimiento homogéneo dentro el sistema y también una buena respuesta de desarrollo de dicha variedad.

Al respecto Urey (2007), presento en cuanto al número de hojas fue la variedad Blanca, ya que esta variedad presenta más hojas que las otras variedades (Crespa, Romana), debido a su característica morfológica y genética de la variedad, pero de menor tamaño, lo que incide directamente como resultado en un menor desarrollo del área foliar que las otras variedades, de esta manera las otras dos variedades tienen un mayor área foliar.

Por otra parte Aruquipa (2008), evidencia que los resultados de la comparación de medias del número de hojas para variedades de lechuga por la prueba de tukey; según el mismo la diferencia en número de hojas es significativa; atribuible principalmente a las características morfológicas de cada una de ellas; en este sentido la variedades White Boston presenta mayor número de hojas (35), seguido de la variedad Borde Morado con 27 y con menor número las variedades Waldmann Green y Grand Rapid 22 y 21 hojas respectivamente.

6.3.4 Altura de planta

El grafico 5 muestra resultados de altura de planta de las diferentes variedades de lechuga. Según los datos obtenidos de las variedades estudiadas la que lidera en altura de planta es la (T3) Maravilla 4 estaciones (29,07 cm), seguidas por las variedades (T4) Romana Blanca Hortanela (24,33 cm), (T2) Waldmann Green var. Caps (22,87 cm), (T6) Crespa Morada (22,40 cm), (T1) Red Salad Bow (21,59 cm), (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead (20,40 cm),

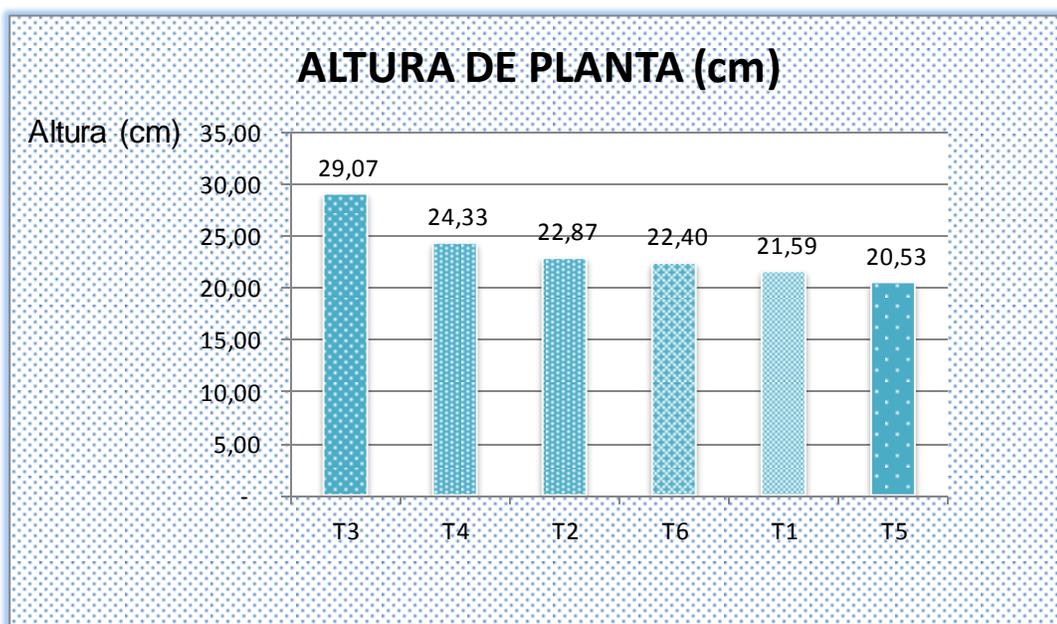


Grafico 5. Altura de planta promedio de las variedades estudiadas

Al respecto Aruquipa (2008), muestra resultados en altura de planta de los diferentes tratamientos. Según el mismo la variedad Borde Morado tanto con sustrato sólido como con líquido presentó mayor altura de planta, con 27,45 y 26,93 cm respectivamente. Por el contrario la variedad Grand Rapid en sustrato líquido presentó menor altura 16,13 cm.

Por otra parte Intipampa (2014), muestra resultados de altura de planta a la cosecha de los cultivares estudiados en ambas comunidades (Bolinda y Santa Fe) donde se encontró que el cultivar que tuvo mayor altura en ambas comunidades fue

Waldmann Green con 27,13 y 23,23 cm respectivamente, seguido del cultivar Grand Rapids “Bonanza” para la comunidad de Santa Fe con 26,66 cm y con 25,55 cm para el cultivar Grand Rapids “Topseed”, siendo este último en cuanto a la altura de planta a la cosecha.

Como también Valdez (2008), de acuerdo al cálculo en promedio, para la altura total de planta, se encontró con y sin fertirrigación en la variedad Gran Rapids Esmeralda de 18,1 y 17,2 cm, respectivamente, seguido de la variedad Waldmann Green con fertirrigación de 17,1 cm, a su vez se diferencia de los de más con menor promedio la variedad Waldmann Green sin fertirrigación con 16,5 cm de altura. La cual este estudio lo realizo en un ambiente atemperado en la facultad Técnica Superior Agropecuaria de Viacha dependiente de la Facultad de Agronomía (UMSA).

De acuerdo a los datos obtenidos en cuanto a altura de planta se pudo evidenciar que en los estudios realizados tuvieron similares alturas en la variedad Maravilla 4 estaciones, como también una cierta similitud en la variedad Waldmann Green, aunque en ambas variedades hubo una ligera superioridad en cuanto a altura, esto posiblemente sea por el ambiente adecuado por cada variedad.

6.3.4.1 Análisis de varianza para altura de la planta

Para una mejor evaluación de la altura de planta se hizo un análisis de varianza al momento de la cosecha del cultivo de lechuga y se muestra a continuación:

Cuadro 12 . Análisis de varianza para la altura de planta a la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloques	2	1,03	0,51	0,34	0,723 ns
Variedades	5	137,24	27,45	17,87	0,0001 **
Error	10	15,36	1,54		
Total	17	153,63			

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo.

El coeficiente de variación es de 5,28%, que está dentro del rango establecido por Calzada (1982), el cual indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales.

Por otra parte el efecto de la interacción, a un nivel de significancia del 5%, presento diferencias significativas, lo que implica que estas variedades son dependientes, es decir que cada variedad respondió diferente en cuanto la ganancia de altura de planta.

En el análisis de varianza los bloques (cuadro 12), mostraron que no hubo diferencia significativa entre los bloques ($Pr=0,723$), por otra parte el análisis de varianza para la altura de planta; mostro que hubo diferencia altamente significativo entre las variedades de la lechuga ($Pr=0,0001$), lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto a la altura de planta.

Por otro lado según los datos obtenidos del ANVA (cuadro 12) se puede afirmar que la variación de bloques fue no significativa, lo cual indica que la luz, la ventilación, la temperatura, la altura y otros no influyeron en el desarrollo de las hojas de dichas variedades, por otro lado la variación de los tratamientos fue altamente significativo, esto nos indica que tuvieron diferentes alturas, esto se piensa que fue debido a la morfología de cada variedad estudiada.

Al respecto Urey (2007), en el análisis de varianza mostro que no hubo diferencia altamente significativa. Por otra parte entre variedades para la altura de planta mostro que si hubo alta diferencia significativa de lechuga con respecto a la altura de las variedades estudiadas.

Como también Intipampa (2014), de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza, se llegó a determinar que existen diferencias significativas tanto para bloques y el factor comunidad, lo cual se atribuye que los bloques fueron aplicados adecuadamente en los cultivares y que la altitud de cada comunidad tuvo un efecto directo en la altura de la planta de lechuga para los tres cultivares. La interacción

de comunidad por cultivares tiene un resultado no significativo lo cual nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

Por otra parte Aruquipa (2008), según sus datos obtenidos en el ANVA se puede afirmar que la variación de bloques fue no significativa, lo cual indica que la luz, la ventilación, la temperatura y otros no influyeron. Por otro lado, el efecto de sustratos y la interacción (sustrato * variedad) presentaron diferencias significativas y alta significancia el efecto de las variedades.

A todo esto y comparando con los datos obtenidos con los demás estudios realizados en lechuga en cuanto a altura de planta, se pudo evidenciar que si hubo diferencia altamente significativa entre variedades, esto hace referencia a que cada variedad lleva consigo una diferente morfología como también diferente exigencia ambiental, ya que la variedad Maravilla 4 Estaciones resulto la que más sobresalió en tamaño a comparación de las otras variedades estudiadas.

6.3.4.2 Comparación de promedios para la altura de planta

El cuadro 13, muestra la comparación de medias para la altura de planta, según las variedades cultivadas, en donde la variedad (T3) Maravilla 4 Estaciones presenta mayor número de hojas (29,07) a diferencia de las otras variedades, como ser las variedades Romana Blanca Hortanela (T4), Waldmann Green (T2), Crespa Morada (T6), Red Salad Bow (T1), Crespa punta morada var. Prizehead (T5), con 24,33; 22,87; 22,4; 21,59 y 20,53 hojas respectivamente.

Cuadro 13. Comparaciones de medias de altura

VARIEDADES	Medias	n	E.E.	PRUEBA TUKEY (p<0,05)
MARAVILLA 4 ESTACIONES (T3)	29,07	3	0,72	A
ROMANA BLANCA HORTANELA (T4)	24,33	3	0,72	B
WALDMANN GREEN var. Caps (T2)	22,87	3	0,72	B C
CRESPA MORADA (T6)	22,4	3	0,72	B C
RED SALAD BOW (T1)	21,59	3	0,72	B C
CRESPA PUNTA MORADA var. Prizehead (T5)	20,53	3	0,72	C

La variedad Maravilla 4 Estaciones (T3) presentó mayor altura (29,07 cm) con relación a las demás variedades, siendo esta diferencia significativa, a comparación de la variedad Crespa Punta Morada (T5) que presento una baja altura (20,53 cm).

La tal diferencia se atribuye a que esta variedad presenta una diferente morfología, de crecimiento precoz ya que tiende a alongarse más a diferencia de las otras variedades, mientras la variedad Romana Blanca Hortalena fue el segundo en la prueba de discriminación (24,33 cm), seguidos por las variedades (T2) Waldmann Green (22,87 cm), (T6) Crespa Morada (22,4 cm), (T1) Red Salad Bow (21,59 cm) y la variedad (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead (20,53 cm).

Al respecto Urey (2007), muestra las alturas promedio de las tres variedades; siendo la variedad crespa (22 cm) que tuvo mayor tamaño, con respecto a la variedad Romana (20,7 cm), y por último la variedad Blanca (15,5 cm), respectivamente.

Por otra parte Aruquipa (2008), obtuvo un promedio en altura de planta de las variedades, según la prueba de medias de Tukey al ($P < 0.05$), la variedad Borde presento mayor altura (27,19 cm) con relación a las demás variedades, siendo esta diferencia significativa; la diferencia puede atribuirse a que esta variedad se comporta mejor en los dos sustratos por el buen manejo y también se explica a que esta variedad tiende a alongarse rápido (de crecimiento precoz) mientras que las variedades White Boston, Waldmann Green y Grand Rapid tuvieron los mismos promedios de altura según esta prueba de discriminación.

A su vez Intipampa (2014), logro similares resultados en la comunidad Santa Fe, donde se encuentran separados en dos grupos diferenciados, donde el cultivar Waldmann Green con 27,13 cm y Grand Rapids "Bonanza" con 26,66 cm, son los que mostraron mejor comportamiento en cuanto a la altura, mismas que según análisis estadístico resultan similares entre sí, mientras que el cultivar Grand Rapids "Topseed" tiene la altura más baja 25,55 cm.

Por tales razones expuestas se llega a la conclusión de que las diferencias en altura de planta pueden deberse principalmente a las características genotípicas en respuesta a las condiciones efecto medio ambientales, ya que se observa diferencias en altura entre las diferentes variedades.

6.3.5 Peso de la planta

El peso promedio de las diferentes variedades estudiadas se presenta en el siguiente gráfico:

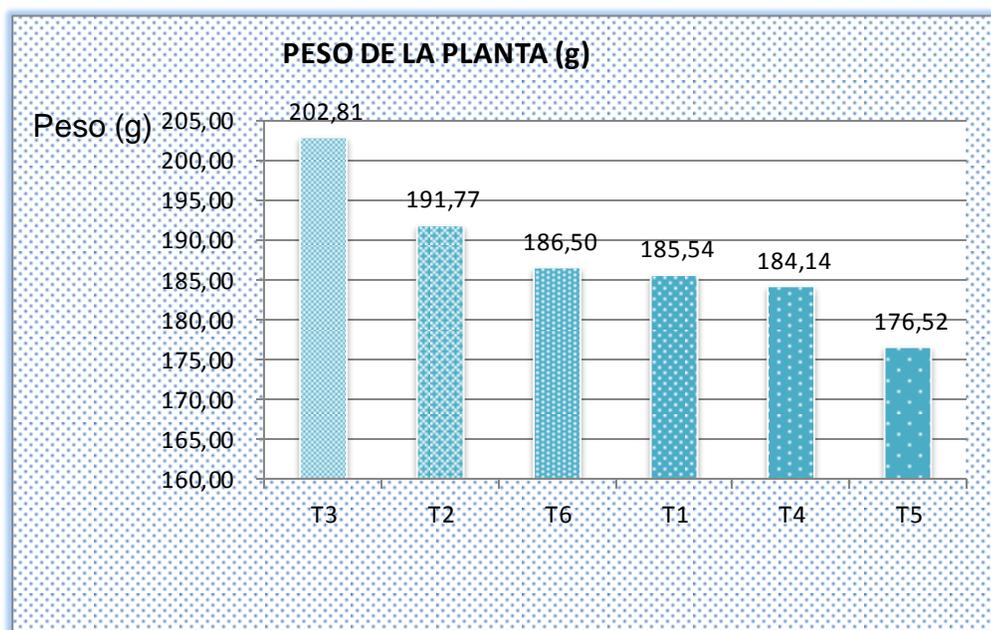


Gráfico 6. Peso promedio de las variedades estudiadas

El gráfico 6 muestra el promedio de peso planta de las diferentes variedades de lechuga. Según los datos obtenidos de las variedades estudiadas la que lidera en peso de planta es la (T3) Maravilla 4 estaciones (202,81 g), seguidas por las variedades (T2) Waldmann Green var. Caps (191,77 g), (T6) Crespa Morada (186,50 g), (T1) Red Salad Bow (185,54 g), (T4) Romana Blanca Hortelena (184,14 g), (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead (176,52 g).

Al respecto Intipampa (2014), en cuanto a peso de la planta al momento de la cosecha, entre los cultivares estudiadas del cultivo de lechuga en ambas comunidades se observan variaciones de promedio no muy distantes que van

desde 124,28 gramos hasta 135,04 gramos que corresponden a los cultivares Grand Rapids "Topseed" y Waldmann Green.

Así mismo Valdez (2008), obtuvo resultados de peso de materia verde promedio que van desde 246,1 gramos hasta 171,1 gramos que corresponden a los tratamientos de la variedad Gran Rapids Esmeralda con fertirrigación y variedad Gran Rapids TBR sin fertirrigación. La cual este estudio lo realizó en un ambiente atemperado en la facultad Técnica Superior Agropecuaria de Viacha dependiente de la Facultad de Agronomía (UMSA).

Por otro lado Urey (2007), afirma que la mayor acumulación de materia verde total y que mejor respondieron al sistema hidropónico recirculante NFT, fueron la variedad Crespa y Romana, de tal forma que tuvieron los promedios más altos en peso 169,5 g y 162,34 g, respectivamente, y por último la variedad Blanca con peso de 132,25 g, observándose diferencia significativas entre ellas, en todos los casos incluye el peso de las raíces.

De acuerdo a lo expuesto cabe recalcar que los datos obtenidos en cuanto a peso de planta en el estudio realizado fue incluyendo las raíces, en la cual la variedad Maravilla 4 estaciones (T3) poseía una mayor cantidad de raíces y por lo tanto se pudo evidenciar que obtuvo un mayor peso a comparación de las otras variedades estudiadas, como también la variedad Waldmann Green (T2) poseía una buena estructura de raíz y por consiguiente obtuvo un segundo lugar en la evaluación en cuanto a peso de planta. Seguido por las demás variedades (Crespa Morada (T6), Red Salad Bow (T1) y Romana Blanca Hortalena (T4)) que tuvieron similares pesos y por tanto un normal volumen de raíces. Y por último la variedad Crespa Punta Morada (T5), donde esta tenía poco volumen de raíces como también de hojas.

6.3.5.1 Análisis de varianza para el peso de la planta

De acuerdo al análisis de varianza (cuadro 14) el efecto de bloques no presenta significancia estadística. Por otro lado, el efecto de variedades es significativo para el peso de las variedades.

Cuadro 14. Análisis de varianza para el peso de la planta al momento de la cosecha

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloques	2	103,02	51,51	0,68	0,5298 ns
Variedades	5	1728	345,6	4,54	0,0201 *
Error	10	760,54	76,05		
Total	17	2591,55			

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo.

El coeficiente de variación es de 4,70%, que está dentro del rango establecido por Calzada (1982), el cual indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales.

Por otra parte el efecto de la interacción, a un nivel de significancia del 5%, presento diferencias significativas, lo que implica que estas variedades son dependientes, es decir que cada variedad respondió diferente en cuanto la ganancia de peso de planta.

En el análisis de varianza los bloques (cuadro 14), mostraron que no hubo diferencia significativa entre los bloques ($Pr=0,5298$), por otra parte el análisis de varianza para el peso de planta; mostro que hubo diferencia significativa entre las variedades de la lechuga ($Pr=0,0201$), lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto al peso de planta.

Al respecto Urey (2007), en el análisis de varianza mostro que para los bloques mostro diferencia significativa en cuanto a las variedades de lechuga ($Pr=0,0026$), y entre los bloques hubo una diferencia altamente significativa, cabe decir que la respuesta de un bloque con respecto al otro bloque fue diferente entre las variedades de lechuga. De igual manera el análisis de varianza para el peso de

planta, mostro diferencia altamente significativa entre las variedades de lechuga ($Pr=0,0005$). De igual manera también entre variedades de lechuga hubo una diferencia altamente significativa, las respuestas de peso fue diferente con respecto a cada variedad.

Así mismo Valdez (2008), obtuvo resultados en donde se observa que los tratamientos de fertirrigación en la variedad Gran Rapids Esmeralda se obtuvo mayor peso de 246,1 gramos, seguidos por Waldmann Green con 221,8 gramos, al final con menor peso frente a los otros tratamientos fue la variedad Gran Rapids TBR con 195,0 gramos.

Como también Intipampa (2014), obtuvo en su análisis de varianza donde indica la ausencia de diferencias significativas entre los bloques y cultivares, determinando que la diferencia de las áreas experimentales no llegó a afectar significativamente el peso individual de materia verde de cultivares estudiados.

Al respecto y comparando con los datos obtenidos con los demás estudios realizados en lechuga en cuanto a peso de planta, se pudo confirmar que si hubo diferencia significativa entre variedades, esto hace referencia a que cada variedad lleva consigo una diferente forma y aprovechamiento de asimilación de los nutrientes dispuestos en la solución nutritiva, como también diferente exigencia ambiental.

6.3.5.2 Comparación de promedios para el peso de la planta

El cuadro 15, se observa las comparaciones de peso planta al momento de la cosecha de las variedades, según la prueba de medias de Tukey al ($P < 0.05$).

Cuadro 15. Comparaciones de medias de los pesos de las plantas

VARIETADES	Medias	n	E.E.	PRUEBA TUKEY ($p < 0,05$)
MARAVILLA 4 ESTACIONES (T3)	202,81	3	5,03	A
WALDMANN GREEN var. Caps (T2)	191,77	3	5,03	A B
RED SALAD BOW (T1)	185,54	3	5,03	A B
CRESPA MORADA (T6)	182,1	3	5,03	A B
ROMANA BLANCA HORTALENA (T4)	180,25	3	5,03	A B
CRESPA PUNTA MORADA var. Prizehead (T5)	171,43	3	5,03	B

La variedad Maravilla 4 Estaciones (T3) presentó mayor peso (202,81 g) con relación a las demás variedades, siendo esta diferencia significativa.

La diferencia se atribuye a que esta variedad presenta diferente genética, morfológica y de crecimiento precoz ya que tiende a elongarse más a diferencia de las otras variedades, mientras la variedad (T2) Waldmann Green (191,77 g), fue el segundo en la prueba de discriminación, seguidos por las variedades (T1) Red Salad Bow (185,54 g), (T6) Crespita Morada (182,1 g), (T4) Romana Blanca Hortaleña (180,25 g) y la variedad (T5) Crespita Punta Morada var. Prizehead (171,43 g).

Al respecto Urey (2007), luego de realizar la comparación de medias mediante contrastes ortogonales de un grado de libertad se observó que entre las variedades Crespita y Romana no hubo diferencias significativas ($pr=0,1799$), pero con respecto a la variedad Blanca hubo diferencias significativas en cuanto al peso de materia verde ($pr=0,0008$).

A su vez Intipampa (2014), reporta resultados por la prueba Duncan al 5% de probabilidad, que el cultivar Waldmann Green obtuvo un peso de 135,04 gramos en

cambio los cultivares Grand Rapids “Bonanza” y Grand Rapids “Topseed” presentan el menor peso con un promedio de 127,60 y 124,28 gramos respectivamente.

Por otra parte a lo expuesto cabe recalcar que los datos obtenidos en cuanto a peso de planta en el estudio realizado fue incluyendo las raíces, en la cual la variedad Maravilla 4 estaciones (T3) obtuvo mejores resultados en cuanto a peso con las demás variedades estudiadas, seguida por la variedad Waldmann Green (T2) que tenía un buen tamaño y volumen de hojas y por consiguiente obtuvo un segundo lugar en la evaluación de peso de planta. Seguido por las demás variedades (Crespa Morada (T6), Red Salad Bow (T1) y Romana Blanca Hortalena (T4)) que tuvieron similares pesos y por tanto un normal volumen de hojas. Y por último la variedad Crespa Punta Morada (T5), donde esta tenía poco volumen de hojas.

Por lo tanto se llega a la conclusión de que las diferencias en peso de planta pueden deberse principalmente a las características genotípicas, a la asimilación diferente de nutrientes, a diferente respuesta a las condiciones efecto medio ambientales, ya que se observa diferencias en peso entre las diferentes variedades estudiadas.

6.3.6 Rendimiento comercial de la planta

El rendimiento de las diferentes variedades de lechuga se resume en el siguiente gráfico:

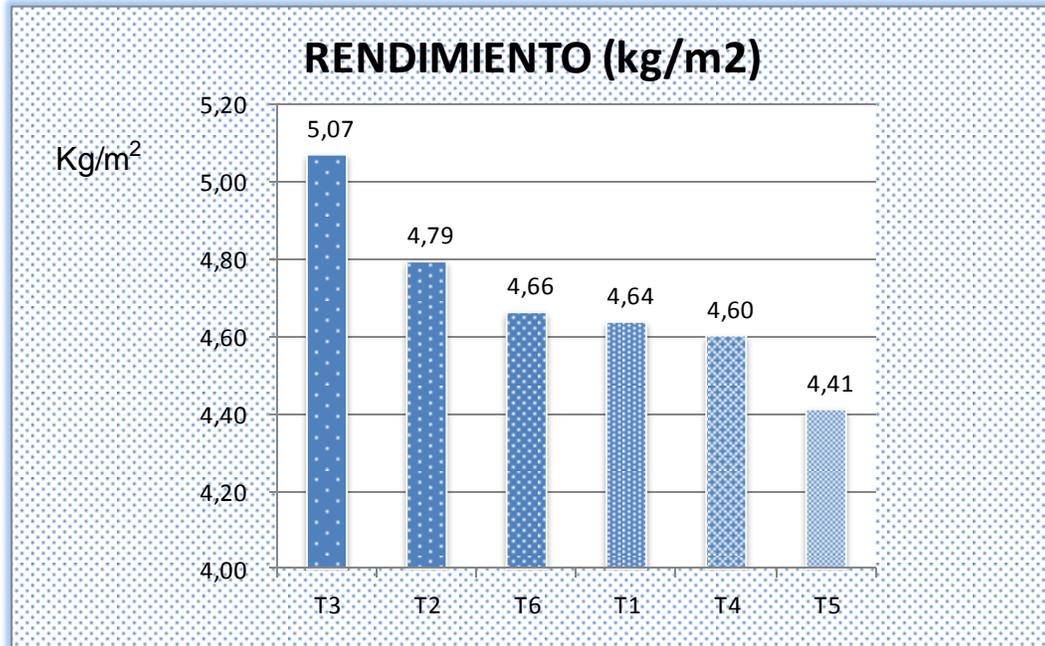


Gráfico 7. Promedios de rendimiento de las variedades estudiadas

Según el gráfico 7, se evidencia que las variedades responden de mejor forma en el sistema hidropónico, superando al rendimiento comercial tradicional, puesto que presentan mayores rendimientos; principalmente la variedad Maravilla 4 Estaciones (T3) con 50703 kg/ha; mientras que tuvieron menor rendimiento las variedades (T2) Waldmann Green var. Caps (47943 kg/ha), (T6) Crespa Morada (46633 kg/ha), (T1) Red Salad Bow (46385 kg/ha), (T4) Romana Blanca Hortaneta (46035 kg/ha) y (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead (44130 kg/ha).

Al respecto Urey (2007), afirma que de tal manera que la producción en el sistema recirculante (hidroponía), estas variedades evaluadas se comportaron cada una de diferente manera desde el almácigo, hasta la cosecha, las diferencias de las variedades evaluadas, en cuanto a la altura de planta, peso, la que sobresalió desde el inicio fue la variedad Crespa y Romana y por último la Blanca (42375 kg/ha; 40585 kg/ha; 33062 kg/ha).

Así mismo Valdez (2008), en cuanto al rendimiento de materia verde entre variedades de lechuga bajo efecto de fertirrigación y sin fertirrigación se pudo observar que la variedad Gran Rapids Esmeralda obtuvo 54,1 y 51,4 tn/ha, seguido de Waldmann Green con fertirrigación de 48,8 tn/ha, al final sin la aplicación de fertirrigación se obtuvo Gran Rapids TBR de 37,6 tn/ha, a esto se asevera que las plantas cumplieron el desarrollo completo para la comercialización.

Al respecto Intipampa (2014), en rendimiento de producto comercial entre los cultivares de lechuga, se aprecia que Grand Rapids “Bonanza” presenta el mayor rendimiento con 19737,67 kg/ha, siendo el que obtuvo el rendimiento más alto con respecto a los demás cultivares estudiados en ambas comunidades, subsiguientemente Grand Rapids “Topseed” es el cultivar que obtuvo el segundo mejor rendimiento con 19558,79 kg/ha y Waldmann Green con 18896,33 kg/ha, siendo el cultivar con el rendimiento más bajo.

Por otra parte Aruquipa (2008), evidencia que las variedades responden de mejor forma en sustrato sólido, puesto que presentan mayores rendimientos que en sustrato líquido; principalmente las variedades Grand Rapid y White Boston con 53700 y 53300 kg/ha respectivamente; mientras que tuvieron menor rendimiento las variedades Grand Rapid y Waldmann Green cultivados en sustrato líquido con 30000 y 30800 kg/ha respectivamente.

Sin más referencias expuestas se aprecia que en la evaluación realizada de las seis variedades, el rendimiento fue distinta en cada variedad como también fue de similares rendimientos con estudios realizados anteriormente, y se destaca la variedad Maravilla 4 estaciones en cuanto a rendimiento, a este resultado se debe a que esta variedad tubo las condiciones apropiadas en cuanto a ambiente y solución nutritiva.

6.3.6.1 Análisis de varianza para el rendimiento (kg/m²)

Para una mejor evaluación del número de hojas/planta a la cosecha del cultivo de lechuga por variedades en el momento de la cosecha, se realizó el análisis de varianza, cuadro 16.

Cuadro 16. Análisis de varianza sobre rendimientos de las diferentes variedades estudiadas

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	p-valor
Bloques	2	0,07	0,03	0,7	0,5191 ns
Variedades	5	1,08	0,22	4,6	0,0194 *
Error	10	0,47	0,05		
Total	17	1,62			

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo.

El coeficiente de variación es de 4,68%, que está dentro del rango establecido por Calzada (1982), el cual indica la confiabilidad de la información y el buen manejo de las unidades experimentales.

Por otra parte el efecto de la interacción, a un nivel de significancia del 5%, presento diferencias significativas, lo que implica que estas variedades son dependientes, es decir que cada variedad respondió diferente en cuanto al rendimiento.

En el análisis de varianza los bloques (cuadro 16), mostraron que no hubo diferencia significativa entre los bloques ($Pr=0,5191$), por otra parte el análisis de varianza para la altura de planta; mostro que hubo diferencia significativo entre las variedades de la lechuga ($Pr=0,0194$), lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto al rendimiento.

Por otro lado según los datos obtenidos del ANVA, se puede afirmar que la variación de bloques fue no significativa, lo cual indica que la luz, la ventilación, la temperatura, la altura y otros no influyeron en el rendimiento de dichas variedades, por otro lado la variación de los tratamientos fue significativo, esto nos indica que

tuvieron diferentes rendimientos, esto se piensa que fue debido a la morfología y las exigencias ambientales de cada variedad estudiada.

Al respecto Urey (2007), en el análisis de varianza mostro diferencia significativa en cuanto a las variedades de lechuga ($Pr=0,0026$), entre los bloques hubo una diferencia altamente significativa, cabe decir que la respuesta de un bloque con respecto a otro bloque fue diferente entre variedades de lechuga.

En estudios realizados por Intipampa (2014), en resultados obtenidos del análisis de varianza, para variable rendimiento del producto comercial en kg/ha al 5% de significancia, de tres cultivares de lechuga, donde no presentan diferencias entre bloques y cultivares, determinado que las áreas experimentales no llego a afectar el rendimiento de los cultivares estudiados.

Por otra parte Aruquipa (2008), obtuvo en su análisis de varianza que el efecto de bloques no presenta significancia estadística. Por otro lado, el efecto de sustratos es altamente significativo para el rendimiento comercial; así mismo, existe efecto de variedades e interacción que influyen de manera significativa en el rendimiento de las variedades. La variación en la interacción con el sustrato que influye de manera significativa en el rendimiento de las variedades. Ambos factores actúan aditivamente; es decir que el factor sustrato influye en el rendimiento de cada una de las variedades y viceversa.

A todo esto y comparando con los datos obtenidos con los demás estudios realizados en lechuga en cuanto al rendimiento, se pudo evidenciar que si hubo diferencia significativa entre variedades, y no así entre bloques donde no hubo diferencia; esto hace referencia a que cada variedad lleva consigo respondió diferente en cuanto a la asimilación de nutrientes, adaptabilidad al sistema, al medio ambiente dentro de la carpa solar, y cabe recalcar que la variedad Maravilla 4 Estaciones resulto la que más rendimiento obtuvo a comparación de las otras variedades estudiadas.

6.3.6.2 Comparación de promedios para el rendimiento (kg/m²)

En el cuadro 17 muestra la prueba de medias de Tukey del rendimiento comercial de las seis variedades de lechugas estudiadas.

Cuadro 17. Comparaciones de medias de los rendimientos comerciales

VARIETADES	Medias	n	E.E.	PRUEBA TUKEY (p<0,05)
MARAVILLA 4 ESTACIONES (T3)	5,07	3	5,03	A
WALDMANN GREEN var. Caps (T2)	4,79	3	5,03	A B
RED SALAD BOW (T1)	4,64	3	5,03	A B
CRESPA MORADA (T6)	4,55	3	5,03	A B
ROMANA BLANCA HORTANELA (T4)	4,51	3	5,03	A B
CRESPA PUNTA MORADA var. Prizehead (T5)	4,28	3	5,03	B

Según la misma estas presentan diferencias significativas. En este sentido, la variedad (T3) Maravilla 4 Estaciones presenta mayor rendimiento (5,07 kg/m²) con respecto a las otras variedades. Por otro lado las variedades (T2) Waldmann Green, (T1) Red salad Bow, (T6) Crespa Morada y (T4) Romana Blanca Hortanela, mostraron rendimientos similares con 4,79 kg/m², 4,64 kg/m², 4,55 kg/m² y 4,51 kg/m² respectivamente y tubo menor rendimiento la variedad (T5) Crespa Punta Morada var. Prizehead con 4,28 kg/m².

La evidencia de un mejor rendimiento de la T3 (Maravilla 4 Estaciones) a comparación de las variedades estudiadas en el presente trabajo fue por la buena adaptabilidad y a un buen prendimiento en el sistema hidropónico, tanto desde la siembra, el primer trasplante, el segundo trasplante, y hasta la cosecha.

Por otra parte se vio que esta variedad es más resistente a las temperaturas altas, pero no así para las bajas temperaturas de los límites recomendados para la lechuga, esto se pudo evidenciar en el crecimiento de las hojas que fueron las más esbeltas y frondosas de las variedades estudiadas.

Al respecto Urey (2007), luego de realizada su comparación de medias, mediante contrastes ortogonales de un grado de libertad se observó que entre las variedades Crespa y Romana no hay diferencias estadísticas significativas, pero con respecto a la variedad Blanca hay diferencias significativas en cuanto a rendimiento. La variedad Crespa es superior con 4,22%, con respecto a la variedad Romana; y con 21,97% a la variedad Blanca, respectivamente, la variedad Crespa es la que mayor rendimiento obtuvo (42,375 t/ha), seguido de la variedad Romana con 40,585 t/ha, y por último la variedad Blanca con un rendimiento de 33,062 t/ha. Correspondiendo la respuesta varietal y genética de las variedades Crespa y Romana que son las que mejor respondieron al sistema hidropónico recirculante.

Por otra parte Aruquipa (2008), obtuvo en la prueba de medias de Tukey del rendimiento comercial de las cuatro variedades de lechuga estudiadas. Según la misma estas presentan diferencias significativas. En este sentido, la variedad White Boston presenta mayor rendimiento (46400 kg/ha) con respecto a las otras variedades. Por otro lado las variedades Borde Morado y Grand Rapid mostraron rendimientos similares con 43400 y 41800 kg/ha respectivamente y tubo menor rendimiento la variedad Waldmann Green con 37500 kg/ha.

A su vez Intipampa (2014), de acuerdo a los resultados de la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, la que presento mejor rendimiento con el cultivar Waldmann Green con una media de 18858,62 kg/ha, que estadísticamente resulta ser diferente a las demás cultivares, le sigue el cultivar Grand Rapids "Bonanza" con una media de 18283,28 kg/ha y Grand Rapids "Topseed" con un rendimiento bajo de 17821,36 kg/ha.

En el estudio realizado se puede observar que el rendimiento fue mayor a comparación de los estudios realizados anteriormente, la cual cabe recalcar que en este estudio se utilizó un sistema hidropónico recirculante de tipo "A", en este sistema se aprovecha el espacio aéreo y por consiguiente se logró más plantas por metro cuadrado, esto influencio de manera resaltante en el rendimiento.

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, en donde se menciona que el comportamiento agronómico de las seis variedades de lechuga bajo el sistema de producción agronómica; son las mismas.

6.4 Análisis económico

El análisis económico que se realizó en el presente ensayo fue con el propósito de conocer si es rentable cultivar en este sistema y a partir de cuantas cosechas (campañas); ya es rentable, se determinó que la producción en este sistema es como se muestra en el cuadro 18. Como también se pretende dar las mejores alternativas al productor, como consecuencia de la investigación agrícola.

Cuadro 18. Presupuesto parcial de la producción, (kg/m²) en Bs.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTO MEDIO (Kg/m ²)	RENDIMIENTO AJUSTADO (Kg/m ²)	BENEFICIO BRUTO (Bs/m ²)/año	COSTO VARIABLE (Bs/m ²)	BENEFICIO NETO (Bs/m ²)
T1	4,6	4,2	200,8	71,0	129,8
T2	4,8	4,3	207,5	71,0	136,5
T3	5,1	4,6	219,5	71,0	148,5
T4	4,6	4,1	199,3	71,0	128,3
T5	4,4	4,0	191,6	71,0	120,6
T6	4,7	4,2	201,9	71,0	130,9
TOTAL					794,6

En el cuadro ya expuesto se puede apreciar el beneficio neto de cada variedad estudiada, cabe recalcar que es por metro cuadrado, en donde se tomó en cuenta un rendimiento ajustado, esto quiere decir que se redujo un 10% al rendimiento real, como también se redujo una campaña de la real calculada, por otro lado se tomó un precio mínimo del producto final, también el costo variable se lo dividió a 6, ya que se calculó en general y no por variedad.

Por tanto se rechaza la hipótesis nula, en donde se menciona que los beneficios económicos con el cultivo de las seis variedades bajo el sistema hidropónico; son similares.

6.4.1 Relación Beneficio y Costo (B/C)

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

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

$$BC = IB / CT$$

Dónde:

BC = Relación Beneficio/Costo

IB = Ingresos Bruto

CT = Costo Total

Como se puede observar en el cuadro 19, según los datos obtenidos no todos los tratamientos presentan valores mayores a 1, lo que nos indica que los tratamientos T2, T3, T6 son rentables, por otra parte los tratamientos T1, T4, T5, no presentan rentabilidad.

Cuadro 19. Relación Beneficio Costo

TRATAMIENTOS	BENEFICIO BRUTO	COSTO TOTAL	B/C
T1	200,80	200,39	1,00
T2	207,55	200,39	1,04
T3	219,49	200,39	1,10
T4	199,29	200,39	0,99
T5	191,55	200,39	0,96
T6	201,88	200,39	1,01

También se puede indicar que esta relación se hizo con el costo total más la infraestructura, lo que inicialmente se dijo que es una inversión fuerte al inicio luego no se harán gastos como en infraestructura que ya estará ahí, sino solo se proveerá de costos variables y ya no en los costos fijos.

De acuerdo a estos resultados se puede señalar que la variedad más conveniente para la producción de lechuga en el sistema hidropónico recirculante “NFT”, es la variedad Maravilla 4 Estaciones (T3), cuyos rendimientos fueron superiores con respecto a las otras cinco variedades de lechugas estudiadas, de manera que está relacionada directamente con las utilidades netas, por el poco tiempo que representa cultivar la lechuga, y por su garantía sanitaria hacia la salud humana cultivar en el sistema hidropónico recirculante “NFT”.

7. CONCLUSIONES

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

- Las variedades de mejor comportamiento en el sistema hidropónico recirculante NFT son las variedades Maravilla 4 Estaciones (T3) y Waldmann Green var. Caps (T2).
- Se obtuvo mejores resultados en cuanto al rendimiento, con la variedad Maravilla 4 Estaciones (T3), con un promedio de 5,07 kg/m², seguido por la variedad Waldmann Green var. Caps (T2), con un promedio de 4,79 kg/m², posteriormente las variedades Crespa Morada (T6) con un promedio de 4,66 kg/m², Red Salad Bow (T1), con un promedio de 4,64 kg/m², Romana Blanca Hortalena (T4), con un promedio de 4,60 kg/m², Crespa Punta Morada var. Prizehead (T5), con un promedio de 4,42 kg/m².
- De acuerdo al análisis económico, los ingresos de la producción en este sistema hidropónico resultaron que las variedades como, la T3 (Maravilla 4 Estaciones), el T2 (Waldmann Green var. Caps), el T6 (Crespa Morada); presentan valores mayores a 1, lo que nos indica que son rentables. Las variedades restantes como el T1 (Red Salad Bow), el T4 (Romana Blanca Hortalena) y el T5 (Crespa Punta Morada var. Prizehead); presentan valores menores a 1, lo que nos indica que no son rentables.
- Por otra parte el análisis de B/C se hizo con todo los costos de instalación, incluyendo costos fijos más costos variables y considerando que en un año se estaría recuperando todo lo invertido inicialmente y por consiguiente las ganancias serian considerables al siguiente año de producción.

8. RECOMENDACIONES

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

- Realizar estudios agronómicos en invierno y hacer la comparación con los estudios realizados en verano para que puedan hacer un balance en el rendimiento.
- Hacer estudios agronómicos sobre la asimilación de sales minerales (solución nutritiva) en invierno como en verano, ya que existen sales que asimilan mejor el cultivo en temperaturas más elevadas, como también otras sales que se asimilan mejor en temperaturas mínimas.
- Se recomienda hacer más investigaciones aplicando otras dosis de soluciones nutritivas como la Molina, Resh, Morgan y Furlani, para ver cuál es la más aceptable o existen diferencias en cuanto al rendimiento para este cultivo y otros.
- Se sugiere hacer la investigación en el sistema hidropónico flotante (piscinas), ya que se observó fuera de la investigación que la producción en piscina aparentaba tener un buen porte en menor tiempo.
- Se recomienda hacer un estudio de comercialización para ver las variedades más comerciales en nuestro medio.
- Se propone promover a los productores hortícolas, haciendo conocer a la población las ventajas que ofrecen las hortalizas hidropónicas, con el fin de buscar diversos mercados de consumo.
- Económicamente se recomienda producir bajo el sistema hidropónico flotante de sustrato sólido en las cuatro variedades ya que las diferencias de beneficios netos entre sistemas no son significativas.

- Para que este nuevo sistema de producción hidropónica NFT tenga éxito, es necesario que sea social y ecológicamente aceptable por los agricultores ya que toda alternativa a ser desarrollada debe ser comprensible, técnicamente factible, acorde a sus necesidades económicas.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, D., CHÁVEZ, F. y ANNA, K., 2001. Seminario de Agronegocios: Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacífico. <<http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>>. (15 abr. 2014).

AMADOR, D., 2000. Hidroponía, principios y métodos de cultivo. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía.

ANDRADE, L., 2011. Reportaje central. La revista de “OPINIÓN” (18/05/2014).

ARIAS, S., 2009. Manual de Producción de lechuga. Mca - honduras / eda. 34 p.

ARUQUIPA, R., 2008. Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo dos sustratos (sólido y líquido) en el municipio del alto. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

ÁVILA, G., 1998. Teoría sobre los métodos aplicados al fitomejoramiento. Metodologías en la investigación en Agronomía – Curso I. Cochabamba – Bolivia.

BAIXAULI, C., AGUILAR, J., 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Cancillería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia.

BARRY, C., 1997. Hidroponía. Soluciones nutritivas. Artículo científico, Gromag. Vol. I, n°2.

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

BRIGHT, L., 2004. Lettuce Handbook. Controlled Environment Agriculture. <http://www.cornellcea.com/Lettuce_Handbook/introduction.htm>. (10 julio. 2014).

CARRASCO, G., 2005. Manual Técnico Almaciguera Flotante para la Producción de Almácigos Hortícolas Talca, Chile. Universidad de Talca.

CARRASCO, G., 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva Recirculante (“NFT”). Talca, Chile. Universidad de Talca.

CASTAÑEDA, F., 1997. Manual de Cultivos Hidropónicos Populares: Producción de Verduras sin usar la tierra. Guatemala. INCAP. 36 p.

CATACORA, E.P., 1996. Curso Internacional de Hidroponía. Centro de investigación de Hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.

CHILON, E., 1997. Manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas. CIDAT. 1ra Impresión. La Paz, Bolivia. 185 p.

CIMMYT, 1988. Manual Metodológico de evaluación económica, México D.F. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

COLINAGRO (inteligencias en agro producción), 2008. Monografías del cultivo de lechuga. Bogotá DC. 37 p.

CRONQUIST, A., 1989. Introducción a la botánica. México. Centro Regional de ayuda Técnica, Edición Continental S.A.

DEVIA, J., 1991. Cultivo Hidropónico. Chile Hortofrutícola (Chile) 4 (23): 8-10.

DIRECCIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (DICTA), 2002. Innovación tecnológica. Guía de producción de lechuga: Sistema raíz flotante. Disponible en <http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html>. (9 abr. 2014).

DOUGLAS, J., 1987, Hidroponía, como cultivar sin tierra, cuarta edición, El Ateneo, Buenos Aires – Argentina Pp. 80-93.

DURAN, J., 2000. El Proyecto Aeroponía. Aeroponic Research. Disponible en <<http://www.aeroponic.it/esp/progetto.htm>>. (15 abr. 2014).

ENCICLOPEDIA BOLIVIA AGROPECUARIA, 2010. Tomo II. Agricultura, forestación, peces, pecuaria y áreas protegidas. 376 p.

ESTRADA, P. J., 1990. Carpas solares; Técnicas de producción para hortalizas BOCEDEFOA. 67 p.

- FAO, 2005. Producción de hortalizas. La Paz-Bolivia.
- FERNÁNDEZ, D., 2014, Hidroponía, como cultivar sin tierra, primera edición, La Hidroponía, Lima – Perú.
- FLORES, A., 2009. Horticultura. Huertos escolares para la seguridad alimentaria. Módulo II. Caranavi-Bolivia. 28 - 32 p.
- FLORES, J., 1996. Carpas Solares. Técnicas de Construcción. Editorial Huellas La Paz, Bolivia. 10-28 p.
- FOSSATI, C., 1986. Como practicar el hidrocultivo. Editorial Edaf. Madrid - España.
- FURLANI, T., 1997. Conferencia Internacional de hidroponía comercial. Centro de investigación de hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.
- GALVÁN, G., GARCÍA, M., RODRÍGUEZ, J., 2008. Lechuga Cultivos de Hoja. Curso de Horticultura, Lima-Perú.
- GARCÍA, M., 2013. El cultivo de la lechuga “The letucce growing”, cultivos herbáceos intensivos, Santiago-Chile.
- GARCIA, V., 2006. Épocas de deshierbe manual y uso de herbicidas en el cultivo de lechuga crespa 68-72 p.
- GARCÍA, V., 1996, Efecto de seis épocas de deshierbe manual y uso de herbicidas en el cultivo de lechuga en carpa solar, Pp. 89.
- GIACONI, V y ESCAFF, M. 1999. Cultivos de Hortalizas. 14^a ed. Santiago, Chile. Universitaria. 337 p.
- GIACONI, M., y ESCAFF, M., 1995. Cultivo de Hortalizas, Editorial Universitaria, Chile, Pp. 337.
- HARTMANN, F., 1990. Invernaderos y ambientes atemperados. FADES. La Paz - Bolivia, p: 30,38 – 90.

HUTERWAL, G. O., 1991. Hidroponía. Editorial Albatro. Buenos Aires Argentina.

INFOAGRO, 2014. Cultivo de la Lechuga. Disponible en: <http://www.infoagro/lechuga_hidroponica.html>. (20 de mayo. 2014).

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

INNOVA SEEDS (A promise in the seed), s/f. Lechuga Waldmann Green. Consultado el 20 de septiembre de 2014, disponible en <http://www.innovaseeds.com>.

INTIPAMPA, A., 2014. Evaluación del comportamiento agronómico de tres cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en dos comunidades del municipio de Caranavi de La Paz. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

IZQUIERDO, J., 2005. Hidroponía Popular, Oficina Regional de la FAO, Santiago - Chile. Pp. 50.

LEXUS, 2010., Cultivo Ecológico de Hortalizas/Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá-Colombia. 175 p.

LIRA, R., 2004. Fisiología Vegetal. 1ra Edición. Ed. Trillas. Distrito federal. 237 p.

LIZARRO, W. G., 2009. Apuntes de Botánica Sistemática y Catalogo de Plantas. Facultad de Agronomía. La Paz- Bolivia.

LLERENA, A. G., 1980. Enciclopedia de la Huerta. Editorial Mundo Técnico: Buenos Aires, Argentina. 157 p.

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

MARULANDA, C., 2003. Hidroponía Familiar en Colombia desde el Eje Cafetalero. Editorial Optigraf, América - Colombia. Pp. 52 - 55.

MICHELENA, V., 2003. Manual de Micro Huertas en Venezuela. Caracas - Venezuela.

MURILLO, W. A., 2010. Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “la huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Trabajo Dirigido. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (FAO - RLC). 2000. Cuadernos de Hidroponía Escolar. FAO - RLC (On line). <<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/hidro.htm>>. (07 oct. 2014).

PENNISGSFELD, F., 1983. Hidroponía Ediciones Mundi Prensa Madrid - España 33 p.

RESH, H. M., 1987. Cultivos hidropónicos. Editorial Mundi, Prensa. Madrid - España. Pp. 509.

RODRÍGUEZ, A., HOYOS, M., y CHANG, M., 1999. Sistema de Cultivo en Columnas. En: Red hidroponía, La Molina. <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponía/boletín1_5/boletín4.htm#articulos>. (7 abr. 2014).

RODRÍGUEZ, D., HOYOS, M., CHANG, M., 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación, Universidad Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. Lima - Perú.

RODRÍGUEZ A., HOYOS M., CHANG M., 2002. Manual práctico de hidroponía. 3ra Edición. Centro de investigación de hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima - Perú.

RUIZ, T., 1993. Manual de horticultura, La Paz – Bolivia, Pp. 64.

SÁNCHEZ, C., 2005. Producción de Lechugas. Ed. Ripalme. Lima-Perú. 135 p.

SÁNCHEZ, A., 1996 – 1997. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo. Montevideo, Uruguay. Pp. 125.

SÁNCHEZ, F., ESCALANTE, E., 1988. Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. 3 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo.

SENAMHI, 2014. Boletín Climatología, La Paz – Bolivia.

SERRANO, Z., 2000, cultivo de hortalizas a campo abierto. 1ra Edición. AEDOS. Barcelona, ES. 360 p.

SERRANO C. Z., 1976. Cultivo de la Espinaca. Publicaciones de Extensión Agraria. Bravo Murillo, Madrid. Pp. 1-19.

TAPIA, M., 1993. Cultivos Hidropónicos. In: Barriga, P. y Neira, M. Cultivos no Tradicionales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Pp: 181-190.

TRUCA, P. O., 2002. Efecto de la composición de Soluciones nutritivas en el cultivo Hidropónico de la Lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en Sucre. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias, Agrícolas y Forestales. Universidad Mayor Real y Pontificada de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Sucre – Bolivia.

UBILLUS, C., 2000. Guía del Huerto Hidropónico. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Primera Edición. Lima - Perú. Pp. 24 - 26.

UREY, G., 2007. Evaluación de tres variedades de Lechuga (*Lactuca sativa*) en el Sistema Hidropónico Recirculante “NFT”. Tesis de Grado. UMSS. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Dr. Martín Cárdenas”. Cochabamba – Bolivia.

VALADEZ, A., 1993. Producción de Hortalizas. Editorial LIMUSA. México. Pp. 141 - 147.

VALDEZ, F. E., 2008. Efecto de fertirrigación en el comportamiento agronómico de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo ambiente atemperado en la

localidad de Viacha. Tesis de Grado. UMSA. Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.

VIGLIOLA, M., 1992. Manual de Horticultura. Editorial, Hemisferio Sur. Buenos Aires – Argentina. Pp. 81-89.

ZEBALLOS, M., 2000. Estudio de los Cambios en la Composición Florística, Cobertura Vegetal y Fenología a lo Largo de un Ciclo Anual en el Área Permanente de Cota Cota – La Paz. Tesis de Grado. Facultad de Biología. La Paz – Bolivia.

ANEXOS

BASE DE DATOS

Variable: Número de hojas (unidades)

Anexo 1. Promedio de numero de hojas a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas

TRATAMIENTOS	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
T1	18	19	18
T2	18	18	17
T3	26	23	23
T4	20	20	21
T5	18	18	18
T6	17	18	17

Variable: Altura de planta (cm.)

Anexo 2. Promedio de altura de la planta a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas

TRATAMIENTOS	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
T1	23	22	21
T2	23	23	23
T3	30	27	30
T4	24	25	25
T5	19	21	22
T6	21	23	23

Variable: Peso de planta (g)

Anexo 3 Promedio de peso de la planta a la cosecha de las diferentes variedades estudiadas

TRATAMIENTOS	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
T1	185,50	178,72	192,40
T2	196,32	189,62	189,38
T3	201,90	202,42	204,12
T4	186,44	189,30	165,00
T5	169,30	184,50	160,50
T6	174,50	186,90	184,90

Variable: Rendimiento Comercial (kg/m²)

Anexo 4. Promedio de rendimiento comercial de las diferentes variedades estudiadas

TRATAMIENTOS	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
T1	4,64	4,47	4,81
T2	4,91	4,74	4,73
T3	5,05	5,06	5,10
T4	4,66	4,73	4,13
T5	4,23	4,61	4,01
T6	4,36	4,68	4,62

Temperatura (C°) y humedad relativa (%)

Anexo 5. Temperatura (C°) y humedad relativa (%)

FECHA	T° INFERIOR		T° SUPERIOR		HUMEDAD RELATIVA %	
	T° MAX	T° MIN	T° MAX	T° MIN	MAX	MIN
04/07/2014	30	5	40	4,5	75	50
05/07/2014	30	5	44	5	74	48
06/07/2014	29	5	42	3	73	52
07/07/2014	29	6	46	5	78	51
08/07/2014	31	5	42	3	78	51
09/07/2014	32	5	40	3	80	49
10/07/2014	32	3	38	3	84	49
11/07/2014	32	4	39	3	83	50
12/07/2014	33	4	39	2,5	85	52
13/07/2014	32	4	39	4	84	52
14/07/2014	31	3	38	3,5	84	52
15/07/2014	31	5	38	3,5	82	58
16/07/2014	29	4	38	3	78	58
17/07/2014	29	3	40	3	79	59
18/07/2014	30	5	40	4	78	60
19/07/2014	30	5	39	4	74	57
20/07/2014	29	5	39	4,5	76	55
21/07/2014	31	4	39	3,5	74	54
22/07/2014	32	4	39	3,5	78	54

FECHA	T° INFERIOR		T° SUPERIOR		HUMEDAD RELATIVA %	
	T° MAX	T° MIN	T° MAX	T° MIN	MAX	MIN
23/07/2014	32	4	38	3	81	52
24/07/2014	31	4	40	3	81	51
25/07/2014	31	4	42	3	82	56
26/07/2014	30	3	44	2,5	79	61
27/07/2014	30	5	42	4	85	60
28/07/2014	30	5	42	4	85	61
29/07/2014	31	3	42	2,5	86	62
30/07/2014	31	5	43	3,5	85	58
31/07/2014	31	4	42,5	3,5	84	59
01/08/2014	31	4	42,5	3,5	81	58
02/08/2014	29	4	41	3,5	80	51
03/08/2014	29	4	42	3,5	80	54
04/08/2014	29	4	42	3	78	56
05/08/2014	29	4	43	3	75	56
06/08/2014	29	4	43,5	3	78	58
07/08/2014	30	5	44	4,5	78	52
08/08/2014	30	5	43	4	80	53
09/08/2014	31	5	43,5	4	79	58
10/08/2014	30	5	42,5	4	79	59
11/08/2014	30	5	42	4	82	59
12/08/2014	31	5	43	4	84	58
13/08/2014	30	4	43	3,5	80	58
14/08/2014	30	4	43	3	75	61
15/08/2014	30	4	44	3	75	60
16/08/2014	30	4	42,5	3,5	75	60
17/08/2014	31	5	43	4,5	76	62
18/08/2014	31	5	43	4,5	77	62
19/08/2014	31	5	43,5	4	77	62
20/08/2014	30	4	43,5	3	74	55
21/08/2014	31	5	43,5	4,5	74	56
22/08/2014	30	4	42	3	78	56
23/08/2014	31	5	44	4	79	58
24/08/2014	31	5	44	4,5	79	58
25/08/2014	31	5	43,5	4,5	80	59
26/08/2014	30	4	43	3	73	59
27/08/2014	30	4	42	3	76	56
28/08/2014	31	5	43	3,5	80	57
29/08/2014	31	5	43,5	3,5	78	57
30/08/2014	31	5	44	4	74	61

FECHA	T° INFERIOR		T° SUPERIOR		HUMEDAD RELATIVA %	
	T° MAX	T° MIN	T° MAX	T° MIN	MAX	MIN
31/08/2014	31	5	44	4	74	60
01/09/2014	30	4	43,5	3	75	60
02/09/2014	30	4,5	43	3	71	62
03/09/2014	30	5,5	44	4	75	61
04/09/2014	30	5,5	43	4	76	59
05/09/2014	30	4,5	43	4	72	59
06/09/2014	30	4,5	43	3,5	75	59
07/09/2014	31	4,6	42	3,6	74	58
08/09/2014	32	4,6	44	4	73	58
09/09/2014	31	4,7	43	4	73	57
10/09/2014	29	4,5	42	3,5	72	57
11/09/2014	29	4,5	40	3,5	72	57
12/09/2014	30	4,5	43	4	72	56

COSTOS DE PRODUCCIÓN

Instalación de almacigueras e piscina flotante

Anexo 6. Instalación de almacigueras e piscina flotante

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U(Bs)	Costo Total(Bs)
Politubo ¾	m	18	3,5	63
Tubos PVC 2"	Barra 4m	3	30	90
Agrofilm	m	1	40	40
Grampa	caja	1	4	4
Madera (machimbre)	m	10	2	20
Clavos	kg	1	10	10
TOTAL				227

Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT

Anexo 7. Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U(Bs)	Costo Total(Bs)
Semi-sombra	m	50	40	2000
Tubos PVC 3"	Barra 4m	13,5	30	405
Tubos PVC 2"	Barra 4m	3	30	90
Politubo ¾	m	18	3,5	63
Teflón	unidad	4	2,5	10
Llave de paso universal 2"	unidad	1	65	65
Codo, reductor, universal ¾	unidad	3	5	15
Emisores	m	6	3	18
Chupones	unidad	6	3	18
Bomba	unidad	1	1000	1000
Plastofor 1 cm	lamina	18	3,5	63
Clavos 3"	kg	3	10	30
Tanque 300 L	unidad	1	450	450
Remaches	docena	25	2	50
Pirámide de producción	unidad	1	500	500
TOTAL				4777

COSTOS DE MATERIAL VEGETAL Y SALES PARA LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

Anexo 8. Costos de Material Vegetal y Sales para la solución Nutritiva

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U(Bs)	Costo Total(Bs)
Semilla	Onza	6	40	240
Siembra	Jornal	1	80	80
Labores culturales	Jornal	10	80	800
Cosecha	Jornal	1	80	80
Plant Prod 15-15-30 + MN	kg	40	1	40
Nitrato de calcio	kg	20	0,5	10
Nitrato de amonio	kg	15	0,5	7,5
Nitrato de potasio	kg	20	0,5	10
Sulfato de magnesio	kg	15	0,5	7,5
Esponja	lamina	1	80	80
TOTAL				1355

ANÁLISIS ECONÓMICO

Anexo 9. Rendimiento Promedio Ajustado

	TRATAMIENTOS					
	1	2	3	4	5	6
Rendimiento Promedio (Kg/m2)	4,6385	4,79433333	5,07033333	4,6035	4,42483333	4,66333333
Rendimiento Ajustado (-10%)	4,17465	4,3149	4,5633	4,14315	3,98235	4,197

Anexo 10. Análisis Económico de las variedades estudiadas

	TRATAMIENTOS					
	1	2	3	4	5	6
Rend. Prom. Ajust. (Kg/30,6m2)	127,74	132,04	139,64	126,78	121,86	128,43
Precio Bs/Kg	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Beneficio Bruto por 30,6 m2	638,72	660,18	698,18	633,90	609,30	642,14
N° de campañas año	9,62	9,62	9,62	9,62	9,62	9,62
Beneficio bruto por año	6.144,50	6.350,92	6.716,54	6.098,14	5.861,46	6.177,40
Total Costos Variables	2.197,33	2.197,33	2.197,33	2.197,33	2.197,33	2.197,33
Beneficios Netos	3.947,17	4.153,59	4.519,21	3.900,80	3.664,13	3.980,06

Anexo 11. Calculo de número de campañas (cosechas)

Tratamiento	Fecha de Siembra	Fecha de Cosecha	Tiempo de desarrollo	Tiempo de almacigo	Tiempo en las piscinas	Tiempo en el sistema	mes	N° de campañas/año
T1	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62
T2	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62
T3	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62
T4	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62
T5	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62
T6	04/07/2014	12/09/2014	71	21	15	35	1,13	9,62

TOTAL DE COSTOS FIJOS Y VARIABLES

Anexo 12. Costos de Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT

Instalación del Sistema Hidropónico Recirculante NFT				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U(Bs)	Costo Total(Bs)
Semi-sombra	m	50	40	2000
Tubos PVC 3"	Barra 4m	13,5	30	405
Tubos PVC	Barra 4m	3	30	90
Politubo ¾	m	18	3,5	63
Teflón	unidad	4	2,5	10
Llave de paso universal 2"	unidad	1	65	65
Codo, reductor, universal ¾	unidad	3	5	15
Emisores	m	6	3	18
Chupones	unidad	6	3	18
Bomba	unidad	1	1000	1000
Plastofor 1 cm	lamina	18	3,5	63
Clavos 3"	kg	3	10	30
Tanque 300 L	unidad	1	450	450
Remaches	docena	25	2	50
Pirámide de producción	unidad	1	500	500
TOTAL				4777

Anexo 13. Costos de Material Vegetal e Insumos nutritivos (solución nutritiva)

Material Vegetal y Sales para la Solucion Nutritiva				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U(Bs)	Costo Total(Bs)
Semilla	Onza	6	40	240
Siembra	Jornal	1	80	80
Labores culturales	Jornal	10	80	800
Cosecha	Jornal	1	80	80
Plant Prod 15-15-30 + MN	kg	40	1	40
Nitrato de calcio	kg	20	0,5	10
Nitrato de amonio	kg	15	0,5	7,5
Nitrato de potasio	kg	20	0,5	10
Sulfato de magnesio	kg	15	0,5	7,5
Esponja	lamina	1	80	80
TOTAL				1355

Anexo 14. Resultado del Análisis de Agua

RESULTADO DE ANÁLISIS				
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LIMITE DE DETERMINACIÓN	A - 1 78 - 1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8.3
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	pS/cm	1.0	88
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0.020	1.1
Sulfatos	SM 4500-SO4*E	mg/l	1.0	18
sodio	EPA 273.1	mg/l	0.019	2.7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0.21	0.65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0.32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0.18	2.5
Dureza Total	SM 2340-B	mg CaCO./l	2.0	38
Fosforo Total	EPA 365.2	P.PO4"mg/l	0.010	< 0.010
Nitrógeno Total	EPA 351.1	mg/l	0.30	< 0.30



INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A75/15

Cliente: FACULTAD DE AGRONOMÍA - UMSA
 Solicitante: Sr. Leonel Quispe Pairo
 Dirección del cliente: Calle Jeruzalen N° 2024 Zona Cesar Augusto
 Procedencia de la muestra: Centro Experimental de Cota Cota
 Provincia: Murillo
 Departamento: La Paz
 Punto de muestreo: Grifo de Carpa de Horticultura - Fac. Agronomía
 Responsable del muestreo: Sr. Leonel Quispe Pairo
 Fecha de muestreo: 10 de junio de 2015
 Hora de muestreo: 10:15
 Fecha de recepción de la muestra: 10 de junio de 2015
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 10 al 26 de junio, 2015
 Caracterización de la muestra: agua de grifo
 Tipo de muestra: Simple
 Envase: Btella Pett
 Código LCA: 75 -1
 Código original : A -1

Resultado de Análisis

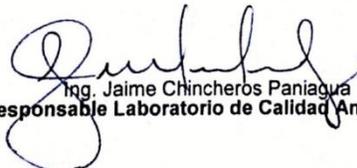
Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A -1 75 -1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	88
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	1,1
Sulfatos	SM 4500-SO4=E	mg/l	1,0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	2,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	0,65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Magnesio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

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

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

La Paz, julio 14 de 2015




 Ing. Jaime Chincheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



cc: ACH
 JCH/LCA

FOTOGRAFÍAS DURANTE EL ESTUDIO REALIZADO

Anexo 15. Fotografías



Armado de la estructura y revestimiento con plastoform



Botellas pett para el control de descenso de la temperatura



Sistema eléctrico (temporizador y térmico)



Instalación de la Semisombra



Almaciguera con algunas variedades ya emergentes



Piscinas flotantes (sistema de raíz flotante)



Visita a la Universidad de San Simón donde tienen el Sistema Hidropónico Recirculante NFT



Variedades en pleno crecimiento



Estructura con las variedades estudiadas



Producción de las otras caras restantes de la estructura en "A"



Cosecha de las variedades estudiadas



T1 variedad Red Salad Bow



T2 variedad Waldmann Green



T3 variedad Maravilla 4 Estaciones