

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE VARIEDADES DE  
*Lactuca Sativa L.* (LECHUGA) EN EL SISTEMA  
HIDROPÓNICO POR LA TÉCNICA PELÍCULA DE  
NUTRIENTE (NFT) IMPLEMENTADO EN EL VIVERO DE  
LA UAP - HUANCAYO.”

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:**

MABEL MELIZA YARASCA APAZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**HUANCAYO - PERÚ**  
**2017**

**ASESOR:**

Ing. M. Sc. Henry Ochoa León

## DEDICATORIA

### ***A Dios.***

Con amor y gratitud por iluminar mi camino, colmar de bendiciones mi vida y mostrarme siempre que él está conmigo sin importar de las circunstancias y adversidades.

### ***A mis padres***

Con amor y mucha gratitud esta investigación está dedicada a ustedes (*Adrian J. Yarasca Arroyo y Severina Apaza Flores*) por enseñarme que siempre se debe de perseverar, jamás tendré las palabras adecuadas para agradecer el gran esfuerzo que siempre realizan para poder cumplir con las metas propuestas. Por qué siempre se cosecha los que se siembra y por fin su esfuerzo rendirá fruto, gracias padres por estar siempre conmigo y por apoyarme como me apoyan.

### ***A mi hermano y hermana***

En especial a *Albert* quien siempre saca una sonrisa en mi rostro y me enseña que no hay obstáculo que no se pueda superar.

*A todos que me apoyaron y creyeron en mí y en este proyecto, mi más grande agradecimiento.*

*Mabel Meliza Yarasca Apaza*

## AGRADECIMIENTO

Esta tesis es el resultado de un conjunto de situaciones, hechos y personas; sin las cuales no habría sido posible, pero sobre todo por las personas que confiaron y creyeron en mí y por mostrarme que los sueños pueden hacerse realidad.

Mi persona en rol de tesista quiere dar especial agradecimiento a las siguientes personas.

Al *Ing. Henry Ochoa León*, por asesorarme con su amplia experiencia y su gran apoyo en la realización del presente trabajo de investigación, gracias por su confianza, paciencia y comprensión.

A la *Ing. Johana Falcón Estrella*, por el apoyo y facilidades brindadas para la realización de la investigación.

A la *Ing. Carmencita Lavado Mesa*, por ayudarme a encaminar adecuadamente la elaboración de la presente tesis.

Al *Dr. Orlando Vilca Moreno*, por los consejos y observaciones brindadas.

También quiero dar un agradecimiento muy especial para mis padres (*Adrian J. Yarasca Arroyo y Severina Apaza Flores*) porque gracias a su apoyo y esfuerzo fue posible la realización de la presente investigación.

A mis hermanos (Albert y Edith), que a pesar de todo siempre estuvieron dándome ánimos y brindándome todo su apoyo.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR:.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Caracterización de la realidad problemática .....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.2.1 Problema General .....	2
1.2.2 Problemas Específicos .....	3
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Importancia.....	5
1.6 Limitaciones.....	6
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	7
2.1 Marco referencial.....	7
2.1.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.2 Referencias históricas. ....	9
2.2 Marco legal.....	10
2.2.1 Ley .....	10
2.2.2 Resoluciones.....	10
2.2.3 Decretos.....	10
2.2.4 Norma Técnica .....	10
2.3 Marco conceptual. ....	11
2.4 Marco teórico.....	13
2.4.1 Cultivos Sin Suelo .....	13
2.4.2 La hidroponía: sistema de producción .....	13
2.4.2.1 Ventajas de la Hidroponía .....	15

2.4.2.2	Desventajas de la Hidroponía .....	17
2.4.2.3	Análisis Comparativo de Cultivos Tradicionales e Hidropónicos o Sin Suelo.....	17
2.4.3	Categorías de los sistemas Hidropónicos .....	18
2.4.3.1	Sistemas Hidropónicos en Agua .....	19
2.4.3.2	Sistemas Hidropónicos con Sustratos .....	19
2.4.4	Sistema NFT.....	20
2.4.4.1	Ventajas de la Técnica Hidropónica de NFT .....	22
2.4.4.2	Desventajas de la Técnica Hidropónica de NFT.....	22
2.4.4.3	Material Necesario para la Instalación del Sistema .....	22
2.4.4.4	Factores a considerar en la producción de cultivos con NFT .....	26
2.4.5	La planta: Componente del sistema Hidropónico.....	27
2.4.5.1	Raíz y las condiciones óptimas para su desarrollo .....	29
2.4.6	Lactuca Sativa (Lechuga) .....	29
2.4.6.1	Importancia económica mundial del cultivo de lechuga .....	30
2.4.6.2	Producción de Lactuca Sativa (Lechuga) en el Perú .....	31
2.4.6.3	Clasificación Botánica .....	32
2.4.6.4	Origen .....	33
2.4.6.5	Adaptación General .....	33
2.4.6.6	Morfología.....	33
2.4.6.7	Valor Nutricional de la Lechuga.....	35
2.4.6.8	Clima.....	38
2.4.6.9	Requerimientos.....	38
2.4.6.10	Grupos Varietales .....	43
2.4.7	Solución Nutritiva.....	53
2.4.7.1	Preparación de la solución nutritiva.....	54
2.4.7.2	Calidad del agua para la solución nutritiva .....	54
2.4.7.3	Duración y cambio de la solución nutritiva .....	54
2.4.7.4	Solución Hidropónica La Molina .....	55
2.4.7.5	Deficiencias de nutrientes .....	56

3	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	62
3.1	Metodología.....	62
3.1.1	Método. ....	62
3.1.1.1	Ubicación del sitio experimental.....	62
3.1.1.2	Diseño y Construcción del sistema NFT.....	63
3.1.1.3	Pruebas hidráulicas.....	66
3.1.1.4	Pruebas experimentales.....	67
3.1.2	Tipo de la Investigación .....	72
3.1.3	Nivel de la Investigación .....	72
3.2	Diseño de la Investigación.....	72
3.3	Hipótesis de la Investigación .....	73
3.3.1	Hipótesis General .....	73
3.3.2	Hipótesis Específicas.....	73
3.4	Variables .....	73
3.4.1	Variable Independiente.....	73
3.4.2	Variable Dependiente .....	73
3.5	Cobertura del Estudio.....	74
3.5.1	Universo. ....	74
3.5.2	Población.....	74
3.5.3	Muestra. ....	74
3.5.4	Muestreo. ....	74
3.6	Técnicas e Instrumentos.....	74
3.6.1	Técnicas de la Investigación.....	74
3.6.2	Instrumentos de la Investigación.....	74
3.7	Procesamiento estadístico de la información.....	75
3.7.1	Estadísticos. ....	75
3.7.2	Representación. ....	75
3.7.3	Técnica de comprobación de la hipótesis. ....	75
4	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
4.1	Resultados.....	76
4.1.1	Número de Hojas.....	76
4.1.1.1	Número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas. ....	77
4.1.1.2	Número de hojas de la Lechuga mantequilla o Butter Head.....	78
4.1.2	Altura de la planta.....	79

4.1.2.1	Altura de la planta de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.....	79
4.1.2.2	Altura de la planta de la Lechuga mantequilla o Butter Head .....	81
4.1.3	Contorno de la Cabeza.....	82
4.1.3.1	Contorno de la cabeza de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.....	82
4.1.3.2	Contorno de la cabeza de la Lechuga mantequilla o Butter Head .....	83
4.1.4	Longitud de hoja más grande .....	84
4.1.4.1	Longitud de la hoja más grande de la lechuga sin cabeza ..... de hojas sueltas. ....	84
4.1.4.2	Longitud de la hoja más grande de la Lechuga mantequilla ..... o Butter Head.....	86
4.1.5	Peso de la parte aérea .....	87
4.1.5.1	Peso de la parte aérea de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.....	87
4.1.5.2	Peso de la parte aérea de la Lechuga mantequilla o Butter Head .....	88
4.1.6	Peso de la raíz.....	89
4.1.6.1	Peso de la raíz de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.....	89
4.1.6.2	Peso de la raíz de la Lechuga mantequilla o Butter Head .....	91
4.1.7	Comportamiento de la Conductividad Eléctrica.....	92
4.1.8	Comportamiento del pH.....	94
4.1.9	Comportamiento de la Temperatura .....	95
4.1.10	Datos del análisis de nutrientes .....	96
4.2	Discusión de resultado .....	96
4.3	Contrastación de Hipótesis .....	105
4.3.1	Análisis de normalidad de los datos.....	105
CONCLUSIONES .....		112
RECOMENDACIONES.....		114
BIBLIOGRAFÍA.....		115
ANEXOS.....		121

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Análisis Comparativo de Cultivos Tradicionales e Hidropónicos .....	17
Tabla 2.2. Comparación entre la producción en suelo e hidroponía en .....	
algunos cultivos.....	18
Tabla 2.3. Hortalizas más frecuentes en cultivo hidropónico y su .....	
rendimiento.....	28
Tabla 2.4. Situación mundial de la lechuga en diferentes países y .....	
regiones en 2011.....	30
Tabla 2.5. Producción de Lactuca Sativa (Lechuga) en el Perú.....	31
Tabla 2.6. Clasificación Taxonómica de la Lechuga .....	32
Tabla 2.7. Composición de la Lechuga (Lactuca sativa L.) por 100 .....	
gramos de porción comestible.....	37
Tabla 2.8. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo .....	41
Tabla 2.9. Lechugas de cabeza, arrepollada o Crisp Head.....	43
Tabla 2.10. Lechugas mantequilla o Butter Head.....	47
Tabla 2.11. Lechugas cos o romanas .....	48
Tabla 2.12. Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas .....	50
Tabla 2.13. Fertilizantes presentes en la Solución Hidropónica La Molina .....	55
Tabla 2.14. Concentraciones de la Solución Nutritiva La Molina.....	56
Tabla 3.1. Método de Investigación.....	63
Tabla 3.2. Tiempo de cultivo de las plantaciones.....	70
Tabla 4.1. Resultados del número de hojas - Lechuga sin cabeza de .....	
hojas sueltas .....	77
Tabla 4.2. Resultados del número de hojas - Lechuga mantequilla o .....	
Butter Head .....	78
Tabla 4.3. Resultados de la altura de la planta - lechuga sin cabeza de.....	
hojas sueltas .....	79
Tabla 4.4. Resultados de la altura de la planta - lechuga mantequilla o .....	
Butter Head .....	81
Tabla 4.5. Resultados del contorno de la cabeza - lechuga sin cabeza de.....	
hojas sueltas .....	82

Tabla 4.6 Resultados del contorno de la cabeza - lechuga mantequilla..... o Butter Head .....	83
Tabla 4.7 Resultados de la longitud de la hoja más grande - lechuga sin..... cabeza de hojas sueltas .....	84
Tabla 4.8 Resultados de la longitud de la hoja más grande - lechuga ..... mantequilla o Butter Head .....	86
TABLA 4.9 Resultados del peso de la parte aérea - lechuga sin ..... cabeza de hojas sueltas .....	87
Tabla 4.10 Resultados del peso de la parte aérea - lechuga ..... mantequilla o Butter Head .....	88
Tabla 4.11 Resultados del peso de la raíz - lechuga sin cabeza de hojas ..... sueltas .....	90
Tabla 4.12 Resultados del peso de la raíz - lechuga mantequilla o Butter..... Head.....	91
Tabla 4.13 Comportamiento de la Conductividad eléctrica durante el ..... tiempo de cultivo .....	92
Tabla 4.14 Comportamiento del pH durante el cultivo.....	94
Tabla 4.15 Comportamiento de la Temperatura dentro del vivero ..... durante el tiempo de cultivo.....	95
Tabla 4.16 Análisis de la normalidad de los datos. ....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sistema de cultivo - NFT .....	21
Figura 2.2. Principales materiales para la Instalación de un sistema NFT .....	22
Figura 3.1. Ubicación del sitio experimental.....	62
Figura 3.2. Descripción de los dos canales utilizados para el experimento .....	64
Figura 3.3. Soporte de los canales de cultivo.....	64
Figura 3.4. Ubicación de los tanques receptores de la solución nutritiva .....	65
Figura 3.5. Sistema de impulsión de la solución nutritiva.....	65
Figura 3.6. Canastillas usadas para la inserción de las plántulas de la lechuga.....	66
Figura 3.7. Regulación del caudal de la solución nutritiva.....	66
Figura 3.8. Solución nutritiva utilizada.....	67
Figura 3.9. Mezclado de la solución nutritiva con el agua .....	68
Figura 3.10. Mezclado de la solución nutritiva.....	68
Figura 3.11. Sistema de cultivo de las plántulas de lechuga.....	69
Figura 3.12. Plántulas de la primera corrida experimental. ....	70
Figura 3.13. Plántulas de la segunda corrida experimental.....	70
Figura 3.14. Plántulas de la tercera corrida experimental .....	71
Figura 3.15. Plántulas de la cuarta corrida experimental .....	71
Figura 3.16. Análisis de laboratorio. ....	71
Figura 4.1 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en ..... el número de hojas. Pilcomayo, 2016. ....	78
Figura 4.2. Interacción entre el número de repeticiones y las ..... características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su ..... efecto en el número de hojas. Pilcomayo, 2016.....	79
Figura 4.3 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en la ..... altura de la planta. Pilcomayo, 2016 .....	80
Figura 4.4 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en la ..... altura de la planta. Pilcomayo, 2016 .....	81

Figura 4.5 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el ..... contorno de la cabeza. Pilcomayo, 2016.....	83
Figura 4.6 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el..... contorno de la cabeza. Pilcomayo, 2016.....	84
Figura 4.7 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en la ..... longitud de la hoja más grande. Pilcomayo, 2016 .....	85
Figura 4.8 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en la..... longitud de la hoja más grande. Pilcomayo, 2016 .....	86
Figura 4.9 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el ..... peso de la parte aérea. Pilcomayo, 2016 .....	88
Figura 4.10 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el peso ..... de la parte aérea. Pilcomayo, 2016.....	89
Figura 4.11 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el ..... peso de la raíz. Pilcomayo, 2016 .....	90
Figura 4.12 Interacción entre el número de repeticiones y las características ..... del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el peso ..... de la raíz. Pilcomayo, 2016 .....	91
Figura 4.13 Comportamiento de la conductividad eléctrica en la ..... solución nutritiva a través del tiempo en las dos primeras pruebas ..... experimentales .....	93
Figura 4.14 Comportamiento de la conductividad eléctrica en la solución ..... nutritiva a través del tiempo en las dos últimas pruebas experimentales.....	93
Figura 4.15 Comportamiento del pH de la solución nutritiva a través del..... tiempo de cultivo .....	94
Figura 4.16 Comportamiento de la temperatura dentro del vivero a través..... del tiempo de cultivo.....	95

Figura 4.17 Diferencia del número de hojas para la lechuga sin cabeza de ..... hojas sueltas .....	96
Figura 4.18 Diferencia de la altura de la planta para la lechuga sin ..... cabeza de hojas sueltas.....	98
Figura 4.19 Diferencia del contorno de la planta para la lechuga..... mantequilla o Butter Head .....	99
Figura 4.20 Diferencia de los pesos de la parte aérea de la lechuga..... mantequilla o Butter Head .....	100
Figura 4.21 Diferencia del peso de las raíces de la lechuga .....	102
Figura 4.22. Ejemplo de gráfica del cual se extrajo los datos para ..... determinar el P-valor .....	106
Figura 4.23. Gráfica de intervalos de N_hojas vs. Caudal de la lechuga ..... mantequilla o Butter Head .....	108
Figura 4.24. Gráfica de intervalos de Número de hojas vs. caudal de la ..... lechuga sin cabeza de hojas sueltas.....	110
Figura 4.25. Proceso de construcción e instalación del sistema hidropónico.	121
Figura 4.26 Incremento de la solución nutritiva an el tanque. ....	122
Figura 4.27 proceso de siembra de las plántulas de lechuga.....	122
Figura 4.28 Crecimiento de las lechugas .....	122
Figura 4.29 Análisis de laboratorio .....	123

## RESUMEN

En el vivero de la Universidad Alas Peruanas- Filial Huancayo, se realizó una investigación con el objetivo de evaluar el crecimiento de dos variedades de lechuga (lechuga sin cabeza de hojas sueltas y lechuga mantequilla o Butter Head) sometidos a dos caudales y conductividades eléctrica distintas; los indicadores de respuesta fueron número de hojas, altura de la planta, contorno de la cabeza, longitud de la hoja más grande, peso de la parte aérea y peso de la raíz. Se utilizó un diseño factorial simple de 2 x 2; en donde el factor A correspondió a los caudales de trabajo (3,36 L/min y 2,27 L/min) y el factor B correspondió a las conductividades eléctricas (2249,15 mS/cm y 1341,62 mS/cm). Los resultados mostraron que existe una relación del caudal de trabajo con el número de hojas, el contorno de la cabeza y el peso de la parte aérea para la lechuga mantequilla o Butter Head, mostrando mejores resultados  $Q_1$  con un promedio de 25 hojas, 109,71 cm de contorno de cabeza y 83,14 g de peso de la parte aérea y finalmente la conductividad eléctrica influye en la longitud de la hoja para le lechuga sin cabeza de hojas sueltas, teniendo de esta manera un mejor desarrollo por parte de  $CE_2$  mostrando una media de longitud de hoja de 21 cm.

## ABSTRACT

In the nursery of the Alas Peruanas University - Huancayo Branch, an investigation was carried out with the objective of evaluating the growth of two varieties of lettuce (lettuce without lettuce leaves and butter lettuce or Butter Head) subjected to two different flows and electrical conductivities; The response indicators were number of leaves, plant height, head contour, largest leaf length, shoot weight and root weight. A simple 2 x 2 factorial design was used; Where the factor A corresponded to the working flow rates (3.36 L / min and 2.27 L / min) and the B factor corresponded to the electrical conductivities (2249.15 mS / cm and 1341.62 mS / cm) . The results showed that there is a relation of the workflow with the number of leaves, the head contour and the weight of the aerial part for butter lettuce or Butter Head, showing better Q<sub>1</sub> results with an average of 25 leaves, 109, 71 cm of head contour and 83.14 g of weight of the aerial part and finally the electrical conductivity influences the length of the leaf for lettuce without head of loose leaves, having in this way a better development by CE<sub>2</sub> showing An average leaf length of 21 cm.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Caracterización de la realidad problemática**

Actualmente la población mundial se encuentra en constante crecimiento. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) la población de la Tierra en el 2 011 fue de 7 000 millones de personas aproximadamente y este dato aumentará, según las previsiones, a unos 9 000 millones para el 2050. En esa fecha habrán de producirse al año otros 1 000 millones de toneladas de cereales y 200 millones de toneladas adicionales de productos pecuarios. El imperativo de alcanzar ese crecimiento agrícola es mayor en los países en desarrollo, donde el reto no consiste únicamente en producir alimentos, sino en garantizar que las familias tengan un acceso a los mismos con la consiguiente mejora de la seguridad alimentaria (FAO, 2011).

Hoy en día es posible evidenciar a nivel global que los ciudadanos son afectados por dos factores convergentes; el primero de ellos viene a ser los precios de los alimentos vegetales, los cuales son cada vez mucho más caros y el segundo factor viene dado por la calidad de los productos ya que la mayor parte de los productos contienen grandes cantidades de agroquímicos y por consecuencia esto supone ser un riesgo para la salud de los consumidores.

En búsqueda de nuevas técnicas para cultivos hortofrutícolas desde la década de los 60 y la falta de tierras para la agricultura convencional nos conduce a la hidroponía el cual es un tipo de cultivo en agua en combinación con sustratos que nutren las plantas, incrementando el rendimiento hasta 500% y reducen significativamente los costos operativos. (Cazco & Iñiguez, 2013)

En Latinoamérica, es una alternativa que se está considerando cada día más y ha hecho que la hidroponía sea una interesante alternativa de producción ya que permite el aprovechamiento de suelos no aptos para la agricultura tradicional. Esta técnica es apropiada en zonas donde hay escasez de agua, ayudando a la producción intensiva y permite tener un mayor número de cosechas por año.

Actualmente se sabe que en el Perú existen reducidas áreas donde la disponibilidad de tierras sean aptas para la siembra y cosecha de productos hortícolas ya que en muchos casos los suelos no cuentan con un riego adecuado y en otros casos estos suelos son pobres en nutrientes, todo esto hace que se busque nuevas alternativas de producción, lo cual nos lleva a los sistemas hidropónicos; sin embargo, es necesario la búsqueda de la mejor optimización de estos sistemas para poder de esta manera obtener una mejor producción, es por ello que se requiere la realización de estudios donde se trabaje con distintos caudales de recirculación y de la misma manera es necesario determinar qué tipo de producto hortícola tiene un mejor desarrollo dentro de un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

- ¿Cuál es la evaluación del crecimiento de las dos variedades de *Lactuca Sativa, L.* (lechuga) a diferentes caudales y conductividad en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cómo influye la variación del caudal sobre crecimiento de las plántulas de la *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en un sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016?
- ¿Cómo influye de la conductividad eléctrica en crecimiento de las plántulas de *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016?
- ¿Cómo se relacionan las variedades de Lechuga mantequilla o Butter Head y Lechuga sin cabeza de hojas sueltas en crecimiento en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Evaluar el crecimiento de las dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa, L.*) a diferentes caudales y conductividad en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la variación del caudal sobre el crecimiento de las plántulas de la *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en un sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.
- Determinar la influencia de la conductividad eléctrica en el crecimiento de las plántulas de *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.
- Relacionar las variedades de la Lechuga mantequilla o Butter Head y Lechuga sin cabeza de hojas sueltas en crecimiento en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.

## 1.4 Justificación

Actualmente solemos escuchar e incluso hablar de agricultura sustentable, el cual es un término ecológico que busca desarrollar la economía para mejorar las oportunidades de la sociedad, al mismo tiempo se busca aumentar la calidad de los recursos naturales y reducir la degradación ambiental.

Sin embargo, para que la agricultura pueda ser considerada como sustentable debe de cumplir con dos características principales: la producción de alimentos tiene que ser eficiente y debe conservar los recursos naturales. Además, debe promover la autosuficiencia regional y reconocer la importancia que tiene la naturaleza para el ser humano.

La característica principal del desarrollo sustentable es que se deben de utilizar los recursos naturales de manera que se asegure que las generaciones futuras tendrán acceso a esos mismos recursos para su supervivencia. De acuerdo con lo anterior la producción hidroponía se convierte en una opción rentable porque con ésta técnica se pueden cultivar hortalizas para el auto-consumo sin dañar el ambiente. Consiste en cultivar frutas y verduras con soluciones nutritivas que con ayuda de sustratos sustituyen el uso del suelo optimizando espacios que no son aptos para la agricultura tradicional, por ejemplo, azoteas, áreas infértiles, etc. Para cultivar con el método hidropónico no se necesita una fuerte inversión ni tener un amplio conocimiento del tema porque es una técnica muy sencilla, además es amigable con el ambiente porque promueve el reciclaje y minimiza el uso de agua. Éste sistema de cultivo permite producir alimentos a gran o pequeña escala y de mejor calidad. Por ésta razón pueden satisfacer necesidades alimenticias porque genera plantas con un crecimiento superior y con más nutrientes.

La aplicación de estos sistemas, surge como una de las soluciones de producción de alimentos, ya que esta genera productos sin afectar sistemas como los cuerpos de agua y sin deteriorar el suelo, además que por su versatilidad pueden ser instalados en lugares que pueden estar más cerca al área de los consumidores, lo cual puede reducir la contaminación generada por el transporte de estos (Ramírez, Sabogal, Jiménez, & Hurtado, 2008).

Según Marulanda indica que las hortalizas que son producidas en sistemas hidropónicos son productos sanos, porque en sus cultivos sólo se emplean aguas limpias, y en el control de plagas, se utilizan técnicas que no contaminen el ambiente ni dejan residuos dañinos en el producto cosechado (Marulanda C. , 1992). Con relación al uso eficiente del agua, Tapia menciona que el agua utilizada por unidad de peso de cosecha puede llegar a ser sólo 1/3 a 1/10 de lo que generalmente se utiliza en el cultivo tradicional, bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura, debido a que no existen pérdidas por percolación, evaporación o escurrimiento (Tapia, 1993).

Al optar por la producción hidropónica se está frenando con la desertificación de los suelos ya que estos sistemas pueden ser instalados en azoteas, paredes, terrazas u otros.

Con el fin de optimizar el crecimiento de los productos hortícolas a nivel local, regional y nacional es pertinente recurrir a diversos estudios mediante el cual se pueda manipular diversas variables para de esta manera poder tener un mejor desarrollo de los productos hortícolas tanto en cantidad como en calidad de producto, es decir poder obtener una buena cantidad de producción en un menor tiempo, o caso contrario, en un menor área de producción.

## **1.5 Importancia**

El crecimiento poblacional y el cambio de uso del suelo obligan a buscar nuevos métodos para el cultivo de nuestros alimentos, es por ello muy importante el determinar las condiciones más adecuadas para que estos métodos sean eficaces y eficientes.

El cultivo hidropónico es un método eficiente para el cultivo de la *Lactuca Sativa L.* (Lechuga), sin embargo, es necesario determinar las características que hagan que este cultivo se vuelva eficaz, para ello es posible alterar los caudales de trabajo, la cantidad de solución nutritiva, la variedad de lechuga, etc.

En la región centro los cultivares de lechuga más comerciales son la Lechuga mantequilla o Butter Head y Lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y es por ello que se tiene que determinar en cuál de estas dos variedades resulta más eficiente en el cultivo hidropónico.

## **1.6 Limitaciones**

Escasa disponibilidad de información referente al caudal de trabajo de un sistema hidropónico NFT.

Manipulación del sistema por parte de terceras personas ya que este se encuentra ubicado en el vivero de la Universidad, lugar en el cual se realiza varias investigaciones y por consiguiente muchas personas tienen acceso al área.

La distribución y retención de la solución nutritiva en cada uno de los orificios es distinto por lo cual existe distinta distribución de solución para cada una de las plántulas.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1 Marco referencial**

##### **2.1.1 Antecedentes de la investigación**

Arcos, Benavides, y Rodríguez en el 2011 realizaron una evaluación con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos de sustratos granzón de arena y ladrillo molido, y la aplicación de dos dosis de fertilizante para el desarrollo del cultivo de lechuga: las variables evaluadas fueron longitud de la hoja (LH), ancho de la hoja (AH), altura de la planta (AP), número de hojas (NH), diámetro de la cabeza de lechuga (DC), peso de la planta (PP) y rendimiento (RTO). Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar (DIA), con un arreglo factorial combinatorio con tres repeticiones; donde el factor A correspondió al sustrato con dos niveles, granzón de arena y ladrillo molido; el factor B la dosis de fertilización, (dosis 1: 3 g de elementos mayores + 3 g de elementos menores y dosis 2: 6 g de elementos mayores + 6 g de elementos menores). Los resultados mostraron que el tratamiento ladrillo molido con dosis de 3 g de elementos mayores + 3 g de elementos menores, presentó los mejores valores para todas las variables evaluadas. En cuanto a sustratos el ladrillo molido tuvo el mejor comportamiento para el cultivo hidropónico de la lechuga, al igual que la menor dosis de

fertilización utilizada y la mayor producción con promedio de 21.80 t.ha<sup>-1</sup> (Arcos, Benavides, & Rodríguez, 2011).

Marcela G, Camilo R, Benavides B, y Chaves J en el 2014 realizaron un proyecto de horticultura el cual es un importante renglón económico en Nariño, este proyecto se realizó como una alternativa para mejorar la producción y calidad de lechuga. En el Centro Internacional de Producción Limpia Lope - SENA - Regional Nariño, se realizó la evaluación de los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz con sus respectivas mezclas bajo un sistema hidropónico sobre una estructura en forma de "A" para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un área de 10 metros<sup>2</sup> para un total de 200 plantas, donde se evaluaron las variables altura, diámetro, peso total, peso de cabeza, peso de raíz y rendimiento. Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones, con los siguientes tratamientos; sustrato 100% cascarilla de arroz, mezcla de 70% cascarilla de arroz y 30% fibra de coco, mezcla del 50% de cada uno de los sustratos utilizados, mezcla 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz y el tratamiento de sustrato 100% fibra de coco. Las mezclas de los sustratos fibra de coco y cascarilla de arroz obtuvieron mejor respuesta para las variables evaluadas que los sustratos individuales, los cuales dieron plantas con mejor desarrollo fisiológico en las variables diámetro peso de cabeza, y rendimiento. En cuanto a la rentabilidad el tratamiento 70% fibra de coco y 30% cascarilla de arroz fue el mejor con un porcentaje del 12% (Marcela G, Camilo R, Benavides B, & Chaves J, 2014).

En Talca, Chile; Carrasco, Tapia, y Urrestarazu estudiaron el contenido de nitrato en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. Altos niveles de nitrato pueden ser dañinos a la salud humana. La Comisión Europea indica que las plantas de lechuga cultivadas en invernadero en período invernal deberían contener una concentración de nitrato foliar menor a 4, 500 mg/kg (peso fresco). En el estudio se determinaron los contenidos de nitrato de lechugas cultivadas en los sistemas hidropónicos de mesa flotante y nutrient film technique (NFT), en invernadero no calefaccionado y en

invierno. Cuatro experimentos se realizaron en Talca, Chile, en período invernal (mayo a septiembre). Tres cultivares de lechuga tipo Española (*Lactuca Sativa* L. var *capitata*) fueron evaluados: “Loreto”, “Floresta” y “Esmeralda”. En el sistema flotante, el contenido de nitrato foliar fluctuó entre 1,344 y 3,839 mg/kg y desde 1,754 a 2,157 mg/kg a inicios y término del período invernal, respectivamente. Los contenidos de nitrato en cultivares de lechuga cultivados en el sistema NFT fluctuaron desde 2,552 a 2,818 mg/kg y entre 2,676 a 3,100 mg/kg a inicios y fin del invierno, respectivamente. Ninguno de los cultivares de lechuga sobrepasó el contenido máximo estipulado por la Comisión Europea y tampoco existieron diferencias consistentes entre ellas (Carrasco, Tapia, & Urrestarazu, 2006)

### **2.1.2 Referencias históricas.**

Lastra Luisa, Razeto y Rojas realizaron una investigación en el cual se estudiaron los requerimientos de nitrógeno de los cultivos de lechuga para obtener plantas de alta calidad fenotípica y bajo contenido de nitrógeno en sus hojas. Dos tipos de lechugas (Divina and Prima cvs y Grand Rapids and Brisa cvs) fueron cultivadas en un sistema hidropónico modificado. Las plantas fueron sujetas a cuatro tratamientos diferenciales de nitrógeno y están en mg de nitrógeno L<sup>-1</sup>: solución 1: 100 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N; solución 2: 150 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N y 50 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N; solución 3: 200 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N y 100 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N; solución 4: 250 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N y 150 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mientras que como base se usó una solución modificada de Hoagland II. Las respuestas de los cultivos a los tratamientos fueron diferentes tanto en crecimiento como en contenido de nitrato en las hojas. Mientras que se observó un mayor crecimiento en las ‘Grand Rapids’ y ‘Brisa’ en la solución 1 con el más bajo contenido de nitrógeno en el cual sólo el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N fue aplicado, se observó lo opuesto en ‘Divina’ y ‘Prima’ en la solución 4 donde NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> fueron aplicadas. Estos resultados mostraron que los requerimientos nutricionales para los cultivos son diferentes. Además, un mayor crecimiento de las plantas fue observado en cultivos donde el contenido de nitrato en las hojas fue mayor. Los

altos niveles de nitrato en cultivos de verduras han sido asociados a problemas humanos. Los cuatro cultivos en todos los tratamientos mostraron contenidos de nitrato bajo los límites establecidos por la European Commission Legislation. (Lastra, Tapia, Razeto, & Rojas, 2009)

## **2.2 Marco legal**

### **2.2.1 Ley**

- Ley N° 29196 Ley de Producción Orgánica o Ecológica (24/01/2008) - Finalidad es promover el desarrollo sostenible y competitivos de la producción orgánica o ecológica en el Perú.
- Ley N° Ley General de Sanidad Agraria (27/06/2008) – La promoción de condiciones sanitarias favorables para el desarrollo sostenidos de la agroexportación, a fin de facilitar el acceso de los productos agrarios nacionales.

### **2.2.2 Resoluciones**

- Resolución Ministerial N° 0314-2014-MINAGRI - Aprueba la Directiva Sectorial "Normas para la Estimación de Intenciones de Siembra de Principales Cultivos de Interés Nacional y Regional Campaña Agrícola 2014-2015.

### **2.2.3 Decretos**

- D.S N° 010-2012-AG (23/07/2012) Aprueban Reglamento de la Ley N° 29196 – Ley de Promoción Orgánica o Ecológica.
- D.L N° 1062 Ley de Inocuidad de alimentos (28/26/2008) Higiene de los alimentos de consumo humano en el territorio nacional, derechos de los consumidores y obligaciones de los proveedores. (SENASA – AGRICULTURA) (SALUD - DIGESA).
- D.L N° 25902 Ley de creación del SENASA (27/11/1992).

### **2.2.4 Norma Técnica**

- NTP 311.613:2014 FERTILIZANTES (30/11/2014). Fertilizantes para cultivos hidropónicos. Requisitos. 1ª Edición. Establece los requisitos que deben cumplir los fertilizantes utilizados en cultivos hidropónicos.

### 2.3 Marco conceptual.

- **Ápices:** En botánica o zoología, ápice designa el extremo superior o punta (del latín apex, con el mismo significado) de la hoja, del fruto, del pólipo, etc.
- **Cogollos:** Nombre común de la planta *Lactuca Sativa L.*
- **Conductividad Eléctrica:** Es una medición indirecta para estimar la concentración total de elementos nutritivos disueltos en la solución nutritiva. La conductividad eléctrica (C.E.), se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución en relación a la concentración de sales disueltas. La unidad de medición de la C.E. es el microsiemens (mS/cm). El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo, se encuentra entre 1.5 a 3.0 mS.
- **Cultivo de Raíz flotante:** consiste básicamente en trasplantar nuestras plantas sobre largas superficies de unicel que se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva que es oxigenada de manera frecuente. Este sistema permite obtener producciones automatizadas, y si se cuenta con las herramientas adecuadas requerirá de cuidados mínimos (como el control de plagas) y el tiempo de cosecha de la mayoría de los cultivos se ve acelerado.
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que mata o inactiva agentes patógenos
- **Elemento Nutritivo:** Los elementos que integran al nutriente son: N (nitrógeno), P (fosforo), K (potasio), Ca (calcio), Mg (Magnesio), S (azufre), Fe (Hierro), Cu (Cobre), Mn (Manganeso), Zn (Zinc), B (Boro), Cl (Cloro) y Mo (Molibdeno). Además de los elementos antes citados las plantas extraen del aire y del agua el C (Carbono), el H (Hidrógeno) y el O (Oxígeno), que en su conjunto forman los 16 elementos básicos en la nutrición vegetal.
- **Hidroponía:** es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego ὕδωρ [*hýdōr*] = 'agua', y πόνος [*ponos*] = 'labor', 'trabajo'. Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de

las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

- **Látex:** El látex natural es una suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas obtenida a partir del citoplasma de las células laticíferas presentes en algunas plantas angiospermas y hongos.
- **Nutriente Hidropónico:** Conjunto de sales minerales que contienen los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo de las plantas.
- **pH:** El pH (potencial de hidrógeno) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH típicamente presenta valores que van de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución. Para medir el pH se utiliza un medidor portátil, el cual debe estar calibrado durante todo el período de uso, de acuerdo a las instrucciones comerciales. El rango de pH es de 5.5 a 6.5.
- **Plántula:** Plantita recién nacida proveniente de semilla que aún conserva sus cotiledones. Consta de raíz, tallo, yema y hojas germinales. En general, alcanza unos 6 u 8 cm y un par de hojas verdaderas.
- **Semilla:** Son estructuras reproductoras de las plantas que contienen al embrión, el cual dará origen a una nueva planta.
- **Siembra:** Es el proceso de colocar semillas en condiciones adecuadas, con el objetivo de que germinen y se desarrollen plantas.
- **Sistema de Riego:** Conjunto de elementos que se encargan de suministrar agua a las plantas durante un ciclo de cultivo.
- **Sistema Vascular:** Las células del tejido vascular son usualmente largas y delgadas. Dado que el xilema y el floema actúan en el sistema de transportes de agua, minerales y nutrientes en la planta, no es de extrañar que su forma sea similar a la de caños o tubos.
- **Solución Nutritiva:** Solución acuosa que contiene todos los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

## **2.4 Marco teórico.**

### **2.4.1 Cultivos Sin Suelo**

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. (Gilsanz, 2007).

### **2.4.2 La hidroponía: sistema de producción**

En combinación con los invernaderos, el cultivo sin suelo o cultivo hidropónico, posiblemente sea hoy en día el método más intensivo de producción de hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objeto es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Cánovas, 2001).

Etimológicamente el concepto de hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (labor, trabajo), que significa literalmente trabajo o cultivo en agua (Alarcón, 2005).

Entonces, la hidroponía es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo, permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura,

humedad, agua y nutrientes. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo (Beltrano & Gimenez, 2015).

La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídrico-nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes. No es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia. Generalmente asociamos esta forma de cultivo con grandes invernaderos para el cultivo de plantas y el empleo de la más compleja tecnología; sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad. (Beltrano & Gimenez, 2015).

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grandes grupos: 1) cerrados y 2) abiertos. Los cerrados, son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrimentos que la planta va consumiendo, y los abiertos o a solución perdida, en la cual la solución nutritiva es desechada (Mosse, 2004)

Dentro de estos dos grupos hay tantos sistemas como diseños de las variables de cultivo empleadas: sistema de riego (goteo, subrrigación, circulación de la solución nutriente, tubería de exudación, contenedores de solución nutritiva, etc.); sustrato empleado (agua, materiales inertes, mezclas con materiales orgánicos, etc.); aplicación de fertilizantes (disuelto en la solución

nutritiva, empleo de fertilizantes de liberación lenta aplicados al sustrato, sustratos enriquecidos, etc.); disposición del cultivo (superficial, sacos verticales o inclinados, en bandejas situadas en diferentes planos, etc.); recipientes del sustrato (contenedores individuales o múltiples, sacos de plástico preparados, etc.) (Zárate Nicolás, 2007)

#### **2.4.2.1 Ventajas de la Hidroponía**

##### **a) Control de la nutrición**

La primera ventaja, y es de suma importancia, es que puedes controlar completamente la nutrición de la planta. Solo los elementos que pones en el agua estarán presentes en la zona de la raíz, en las proporciones que elijas. Puedes controlar la calidad, así como la cantidad de los nutrientes disueltos en el agua en todo momento (Texier, 2013).

##### **b) Mínima pérdida de agua**

A través de estos sistemas se realiza un uso eficiente del agua, ya que ésta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada. Además en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación (Gilsanz, 2007).

##### **c) Ahorro de nutrientes**

Todo el nutriente utilizado es absorbido por la planta. Nada se pierde en el suelo, por lo que no se corre el peligro de contaminar sus aguas y reducir la vida microbiana de la tierra. Una mejor salud y un crecimiento más rápido reducen la necesidad del uso de plaguicidas (Texier, 2013).

##### **d) No hay necesidad de herbicida**

Esto es casi obvio. En las bandejas o canales de plástico, no hay margen para que crezcan las malas hierbas. Tanto la no necesidad de herbicidas, como el hecho de que las plagas pueden matarse con cuidado, hacen del cultivo hidropónico una tecnología bastante limpia. (Texier, 2013).

##### **e) Una planta iniciada en la hidroponía es vigorosa**

Si mantienes una planta madre en hidroponía para luego clonarla y trasplantar los bebés a la tierra, estos crecerán más vigorosamente que si hubieran llegado de una madre en tierra. (Texier, 2013).

**f) Menor número de horas de trabajo y más livianas**

En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no sólo pueden automatizarse, sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas. Además en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos (Gilsanz, 2007).

**g) No es necesaria la rotación de cultivos**

En estos sistemas no es necesaria la rotación de cultivos en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la no existencia de suelo (Gilsanz, 2007).

**h) No existe la competencia por nutrientes**

No existe la competencia por nutrientes, ya sea por plantas voluntarias o por microorganismos de suelo (Gilsanz, 2007).

**i) Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento**

Tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular adquiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde se suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo (Gilsanz, 2007).

**j) El Sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales**

La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. En general es posible desarrollar producciones comerciales exitosas en áreas tan pequeñas como el fondo de una casa. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales (Gilsanz, 2007).

### **2.4.2.2 Desventajas de la Hidroponía**

#### **a) Costo inicial alto**

Estos sistemas presentan un costo inicial alto debido a las inversiones a realizar, de todos modos esto variará dependiendo del sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente de crecimiento. Si vamos a sistemas donde se controla la temperatura, humedad y luz del lugar de crecimiento del cultivo, tendremos mayores grados de inversión en equipos de medición y control. Por otro lado sistemas que requieran un aporte energético, como los sistemas circulantes, diferirán en los costos de aquellos sistemas flotantes o estáticos (Gilsanz, 2007).

#### **b) Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición**

Este tipo de producciones demandan una mayor especialización del productor, exigiéndole un grado mayor de conocimientos respecto al funcionamiento del cultivo y de la nutrición de éste. Repentinos cambios de temperatura o de ventilación tendrán respuesta directa en el cultivo, sobre todo en ambientes protegidos. El íntimo contacto del productor con el cultivo permitirá prevenir tales cambios ambientales y la regulación de las necesidades nutricionales de acuerdo a las exigencias de éste (Gilsanz, 2007).

#### **c) Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo**

Al no existir suelo se pierde la capacidad buffer de éste frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales. El productor deberá estar muy atento al equilibrio de la fórmula nutricional y a sus cambios durante el ciclo (Gilsanz, 2007).

### **2.4.2.3 Análisis Comparativo de Cultivos Tradicionales e Hidropónicos o Sin Suelo**

El análisis en el cual se va a comparar los cultivos tradicionales con los cultivos hidropónicos se resume en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Análisis Comparativo de Cultivos Tradicionales e Hidropónicos

	<b>CULTIVO TRADICIONAL</b>	<b>CULTIVO HIDROPÓNICO</b>
<b>NUTRICIÓN DE LA PLANTA</b>	Muy variable Difícil de manejar	Controlada, estable, fácil de corregir.
<b>ESPACIAMIENTO</b>	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio y de la luz
<b>CONTROL DE MALEZAS</b>	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
<b>ENFERMEDADES Y PATÓGENOS DEL SUELO Y NEMÁTODOS</b>	Enfermedades del suelo	No existe patógenos del suelo
<b>AGUA</b>	Plantas sufren estrés Ineficiente uso del agua	No existe estrés hídrico Pérdida casi nula

**Fuente:** (Universidad de OSAKA, Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998)

Rodríguez Delfín A. después de varias investigaciones con diferentes tipos de cultivos determina las diferencias sustanciales en los rendimientos de cultivos realizados tanto en el suelo como en los sistemas hidropónicos (Rodríguez Delfín, 2004).

Tabla 2.2. Comparación entre la producción en suelo e hidroponía en algunos cultivos

<b>Cultivo</b>	<b>Suelo</b>		<b>Hidroponía</b>	
	<b>Plantas / m<sup>2</sup></b>	<b>Rendimiento (ton/ha)</b>	<b>Plantas / m<sup>2</sup></b>	<b>Rendimiento (ton/ha)</b>
Fresa	5	10 _12	10 _16	60 _80
Papa	4	15 _20	6 _8	60 _70
Tomate	6	30 _40	2_3	150 _200
Vainita	40	5 _7	50 _60	40 _45
Yacón	2	25 _30	4 _5	60 -80
Lechugas	6	5 000	25	20 000

**Fuente:** Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral UNALM

### 2.4.3 Categorías de los sistemas Hidropónicos

Según Rodríguez Delfín A., existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados (Rodríguez Delfín, 2004):

- Sistemas Hidropónicos en agua
- Sistemas Hidropónicos en Sustratos

### **2.4.3.1 Sistemas Hidropónicos en Agua**

#### **a) Recirculante o NFT**

Este sistema consiste en hacer recircular en forma permanente una película fina constituida por una determinada cantidad de solución nutritiva, la cual permitirá tanto la respiración de las raíces (al aportarles oxígeno), como la absorción de los nutrientes y del agua durante el periodo vegetativo de la planta. Esta película no deberá alcanzar una altura superior de 5 a 7 cm desde la base del contenedor (Samperio Ruíz, 1999)

#### **b) Raíz flotante o cultivo en agua**

En este sistema de raíz flotante las raíces crecen dentro de la solución nutritiva. Las plantas están sostenidas sobre una lámina de icopor con la ayuda de un cubito de esponja; el conjunto de lámina y plantas flota sobre la superficie del líquido. Este sistema se recomienda para climas frescos por que en los climas muy calientes, el oxígeno (indispensables para que las raíces respiren y tomen nutrientes) se evapora con mucha mayor rapidez. Este sistema es muy conveniente para el cultivo de albahaca, apio, berro, escarola y varios tipos de lechuga, con excelentes resultados en ahorro de tiempo y rendimientos por cada metro cuadrado cultivado (Reyes Tigse, 2009)

### **2.4.3.2 Sistemas Hidropónicos con Sustratos**

#### **a) Riego por Goteo**

La solución nutritiva y el agua son suministradas a cada planta a través de goteros conectados en mangueras de goteo de polietileno de color negro. El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente en la zona radicular. El sistema es muy usado para la producción de cultivos de fruto como tomate, pimiento, melón, pepinillo y sandía (UNALM, 2005)

#### **b) Sistema de columnas**

El sistema de columnas o sistema vertical es un sistema de cultivo sin suelo utilizado principalmente para cultivar fresas, pero también

puede emplearse para cultivar otros cultivos como lechuga, espinaca y plantas aromáticas. Las columnas pueden ser mangas plásticas colgantes, tubos de PVC o un conjunto de macetas de tecnopor apiladas verticalmente. Para cultivar en este sistema se deben elegir especies que tengan poco volumen, un sistema radicular relativamente pequeño y que toleren estar colgadas contra la gravedad, teniendo sus raíces como único medio de anclaje (Reyes Tigse, 2009)

### **c) Sistema de canaletas suspendidas**

En países con fuerte demanda de fresa, sobre todo para mejorar y obtener producción en invierno, las plantas son cultivadas en invernaderos y emplean canaletas o canales de PVC. El sistema consiste de láminas plásticas corrugadas en forma de U de 10 cm de profundidad y 12 cm de ancho; sobre las canaletas se colocan contenedores de tecnopor; los diámetros de los agujeros es de 5 cm; los agujeros están separados cada 20 cm. Las canaletas van suspendidas de 1,2 – 1,6 m del suelo; alturas mayores complican la observación de las plantas y el manejo del cultivo. El distanciamiento entre canaletas es 0,8 – 1,0 m. El sustrato que se coloca en los contenedores debe ser liviano como perlita, piedra pómez, pudiéndose usar mezclas de musgo, fibra de coco, aserrín de pino y/o cascarilla de arroz. La solución nutritiva se aplica con sistema de riego por goteo (Rodríguez Delfín, 2004).

#### **2.4.4 Sistema NFT**

El sistema de cultivo por NFT (Nutrient Film Technique) que traducido al español significa "la técnica de la película nutriente", es una de las técnicas más utilizadas en la hidroponía, la cual se basa en la circulación continua o intermitente de una fina lámina de solución nutritiva a través de las raíces del cultivo, sin que éstas por tanto se encuentren inmersas en sustrato alguno, sino que simplemente quedan sostenidas por un canal de cultivo, en cuyo interior fluye la solución en donde no existe pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se considera un sistema

de tipo cerrado ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

El principio del sistema consiste en recircular continuamente una solución nutritiva por una serie de canales de PVC de forma rectangular, llamados canales de cultivo. En cada canal hay agujeros donde se colocan las plantas, y estos canales están apoyados sobre mesas caballetes con una ligera pendiente o desnivel que facilita la circulación de la solución. Luego la solución es recolectada y almacenada en un tanque ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

Figura 2.1. Sistema de cultivo - NFT



**Fuente:** Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, 2006

Una bomba funciona continuamente durante las 24 horas del día, permitiendo la circulación, por los canales de cultivo, de una película o lámina de apenas 3 a 5 milímetros de solución nutritiva. Esta recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para las plantas. Como el agua se encuentra fácilmente disponible para el cultivo, la planta realiza un mínimo el gasto de energía para la absorción, pudiendo aprovechar ésta en otros procesos metabólicos ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

#### 2.4.4.1 Ventajas de la Técnica Hidropónica de NFT

Las ventajas de utilizar la técnica hidropónica NFT son las siguientes (Soria Campos, 2012).

- Ahorros significativos en solución nutritiva y en agua.
- Máximo aprovechamiento en solución nutritiva y en agua.
- Es un sistema que se puede automatizar fácilmente.
- Permite cosechar y rotar mucho más rápido los cultivos.
- Facilita la limpieza del sistema, a diferencia del cultivo en sustrato.

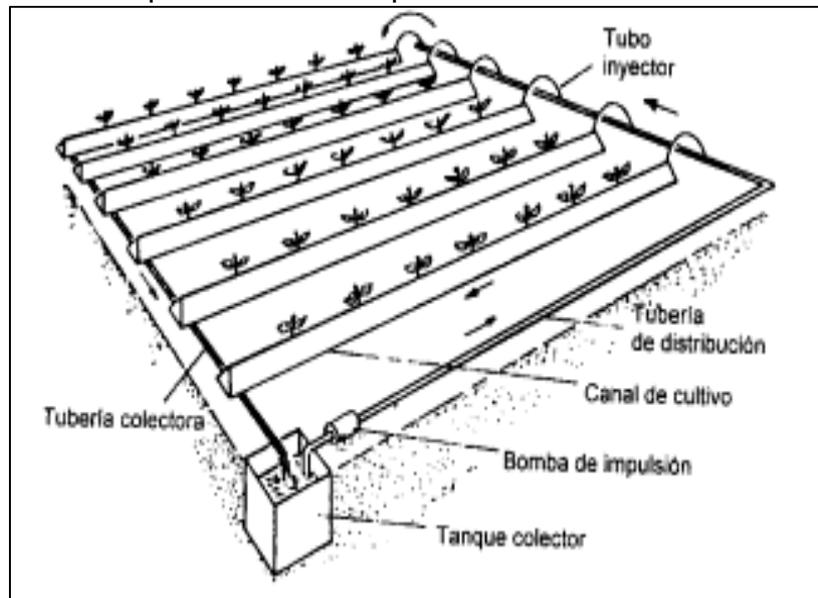
#### 2.4.4.2 Desventajas de la Técnica Hidropónica de NFT

- Este sistema requiere de un cuidado adecuado del estado de la solución nutritiva para rendir resultados esperados.
- Los costos iniciales son mayores que con otros sistemas.

#### 2.4.4.3 Material Necesario para la Instalación del Sistema

Los elementos principales de un sistema NFT son los siguientes:

Figura 2.2. Principales materiales para la Instalación de un sistema NFT



**Fuente:** Magán Cañadas, J.J. Recirculación de las soluciones nutritivas

##### a) Tanque recolector:

El tanque colector se utiliza para almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. Almacena el drenaje (solución nutritiva) procedente de los canales de cultivo que escurre por gravedad hasta

el tanque, por lo que resulta conveniente que se encuentre en la parte más baja del terreno. El material de fabricación puede ser de polietileno, PVC, fibra de vidrio o de metal pintado con pintura epóxica en su interior.

El volumen del tanque colector está determinado fundamentalmente por la superficie de cultivo. En muchas instalaciones la capacidad del tanque sólo representa entre el 10 y el 15 % del volumen total de solución que circula en el sistema, ya que el resto se encuentra contenido en las tuberías y canales. Sin embargo, cuando se realiza riego intermitente o se apaga el sistema, el volumen del tanque debe tener la capacidad suficiente como para acumular toda el agua del sistema. También va a depender del volumen requerido de solución según las necesidades fisiológicas de la planta en particular y la época del año.

Al tanque se le debe incorporar un sistema que conecte con la tubería de aporte de agua exterior, para que se mantenga un nivel constante en el depósito, así que cuando disminuya el nivel de agua (por el consumo hídrico de las plantas) se abra la tubería para que entre el agua exterior.

En cuanto a la inyección de fertilizantes, ésta se realiza directamente al tanque a partir de unos depósitos de soluciones madre, los cuales están controlados por unas válvulas (que pueden ser electrónicas o manuales) las cuales controlan la apertura y cierre, permitiendo la caída por gravedad de los fertilizantes al tanque. También se pueden utilizar bombas inyectoras para incorporar las soluciones madre ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

El tanque colector debe permanecer cubierto para evitar el desarrollo de algas, las cuales consumen oxígeno de la solución, aumentan la degradación de compuestos químicos de ésta y favorecen su contaminación con restos orgánicos. Así, es vital que el tanque sea cubierto con una tapa de fácil remoción y que también posibilite el paso de la parte final del tubo colector hacia el interior del tanque.

### **b) Bomba:**

La bomba de impulsión corresponde a uno de los componentes claves del sistema, la cual se encarga de impulsar permanentemente la solución nutritiva, del tanque colector, hasta la parte alta de los canales de cultivo. La elección de la bomba dependerá de la magnitud del módulo de producción y grado de supervisión, y aunque el requerimiento de potencia es mínimo (por la cantidad de líquidos que se necesita), hay que tener en cuenta que funcionará permanentemente durante un largo periodo de tiempo, por lo que debe integrar componentes sólidos y de calidad. Dentro de la gran variedad de tipos de bombas y características de funcionamiento, destacan las de accionamiento eléctrico de operación sumergida o no sumergida. Entre las de operación no sumergida, destacan por su menor costo las de tipo centrífugo, unicelular, de eje horizontal, accionadas por un motor eléctrico monofásico o trifásico, montadas en un solo cuerpo.

Para la selección de la bomba deben considerarse los siguientes aspectos:

Para la selección de la bomba deben considerarse los siguientes aspectos:

- Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba.
- Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo.
- Caudal de operación en relación a la altura manométrica requerida y eficiencia.

La bomba debe localizarse en forma próxima al tanque colector, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones. Por lo general, la bomba es instalada al nivel superior del tanque siendo necesario que la tubería de succión cuente con una válvula de retención para mantener el sistema de succión "cebado" frente a detenciones voluntarias o involuntarias ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

### **c) Tuberías de distribución:**

La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. En la actualidad se utiliza este tipo de materiales porque no interactúan con los elementos minerales que componen la solución nutritiva. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, sin embargo como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

**d) Canales de cultivo:**

El sistema "NFT" se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.

Los canales de cultivo constituyen el medio de sostén de las plantas y además la base sobre la que fluye la solución nutritiva. Dado que es necesario que la altura de la lámina de agua en el interior del canal no supere los 4 ó 5 mm con el fin de conseguir una adecuada oxigenación de las raíces, resulta muy conveniente utilizar canales de sección plana y no cóncava.

En lo que se refiere a su longitud, ésta no debe superar los 15 m para asegurar unas condiciones adecuadas y uniformes en todo el canal y evitar la falta de oxígeno. Por último, la pendiente longitudinal debe estar entre el 1 y el 2 % ya que, si resulta inferior, queda dificultado el retorno de la solución al tanque colector y la altura de la lámina de agua puede ser excesiva. Por otro lado, no es conveniente que sea mayor del 2 %, ya que entonces se dificultaría la absorción de agua y nutrientes, especialmente cuando las plantas son pequeñas, por una excesiva velocidad de circulación de la

solución en el canal ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

**e) Tubería colectora**

La tubería colectora es la que se encarga de recoger la solución nutritiva al final de los canales de cultivo y llevarla hasta el tanque colector por gravedad. Suele ser de PVC y debe tener una pendiente suficiente para asegurar la evacuación. La localización de esta tubería se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales, de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose ( Instituto de Nutrición de Centro América y Panama, Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT, 2006).

Al final de ésta, se requiere colocar un codo de PVC recubierto con material aislante (polietileno) para facilitar su caída. Los materiales preferentemente utilizados son aquellos que no reaccionan con alguno de los elementos minerales disueltos en la solución nutritiva.

**2.4.4.4 Factores a considerar en la producción de cultivos con NFT**

**a) Calidad del agua:**

Es importante analizar el suministro de agua, la cual puede provenir de lluvia o ser potable. Cuando el agua es dura, se requiere bajar su pH a 6 (Mundo Guerrero, 2013).

**b) La temperatura:**

Una característica de la NFT, es la facilidad con la que la temperatura de la raíz puede ser manipulada para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Es importante mantener las soluciones entre 13 y 15°C con el fin de prevenir una absorción reducida de nutrimentos (Mundo Guerrero, 2013).

**c) El pH:**

En general, la absorción máxima de un ión ocurre entre un pH 5 y 7. Normalmente se mantiene el pH entre 5.5 y 6.5, para la mayoría de cultivos en invernaderos (Mundo Guerrero, 2013).

**d) La Conductividad Eléctrica (CE):**

Se recomienda mantener un nivel de electro conductividad en los rangos adecuados para que las plantas dentro del sistema no se deshidraten por exceso de sales o al contrario, absorban menos nutrientes por ausencia de los mismos (Mundo Guerrero, 2013).

**e) La longitud del canal:**

Un máximo de 20 m de longitud es generalmente recomendado, se considera que la longitud no debe de superar a los 20 y 25 m (Mundo Guerrero, 2013).

**f) La anchura del canal:**

Para cultivos de hortalizas altas, como por ejemplo el tomate, la distancia entre plantas se recomienda entre 25 a 30 cm; sin embargo hay cultivadores que señalan que puede usarse canales más estrechos, de 15 cm, sin afectar los rendimientos (Mundo Guerrero, 2013).

**g) La pendiente del canal:**

Para asegurar las condiciones convenientes en las zonas de las raíces, el canal deberá de tener una pendiente que permita a la solución fluir a lo largo del mismo. En general, pendientes entre 1.5 y 2% parecen convenientes y las menores a 1% deberán de evitarse (Mundo Guerrero, 2013).

**h) El oxígeno en la Solución Nutritiva:**

La solución nutritiva dentro del sistema se va a mantener oxigenada debido a la circulación de la misma dentro del sistema. Generalmente, la circulación ocurre gracias a la inclinación de la tubería para NFT o por diferencia en las alturas de las conexiones.

#### **2.4.5 La planta: Componente del sistema Hidropónico**

La planta es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta que se tenga, y por tanto, los rendimientos (Oasis, 2007).

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, dentro de ellas podemos mencionar:

**a) Hortalizas:**

**Hortalizas de hoja:** Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, berros.

**Hortalizas de flor:** Brócoli, coliflor, alcachofa, etc.

**Hortalizas de fruto:** Tomate, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa, etc.

**b) Especies aromáticas:** Albahaca, menta, cilantro, perejil.

**c) Ornamentales:** Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos, lilis, gerberas, etc.

En el siguiente cuadro se incluyen datos sobre las etapas de cultivo de algunas especies, con la técnica hidropónica.

Tabla 2.3. Hortalizas más frecuentes en cultivo hidropónico y su rendimiento

<b>Cultivo</b>	<b>Días después de Siembra (DDS)</b>			<b>Centímetros entre</b>		<b>Producción por m<sup>2</sup></b>
	<b>Germinación</b>	<b>Trasplante</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Surcos</b>	<b>Planta</b>	
Acelga	7 a 14	30 a 35	70 a 75	15 a 20	15 a 20	25 unidad
Albahaca	5 a 8	25 a 30	60	20 - 30	20 - 30	3 a 4 kg
Apio	8 a 15	50 a 55	60 a 75	17 - 20	17 - 20	35 unidad
Brócoli	3 a 8	22 a 25	85	25 - 30	25 - 30	N.D.
Cebolla	6 a 10	40 a 45	65 a 70	10 a 15	10 a 15	6 a 8 kg
Cebollino	6 a 12	41 a 45	60 a 65	10 a 15	10 a 15	15 rollos /mes
Coliflor	3 a 8	23 a 25	90	25 a 30	25 a 30	N.D.
Culantro	10 a 15		50 a 55	a chorro	15 a 20	25 rollos
Chile	4 a 12	35	80 a 85	30 a 50	100 - 120	15 a 20 / planta
Lechuga	3 a 5	22 a 25	35 a 45	25	25	20 a 25 unidad
Pepino	3 a 5	12 a 14	45 a 50	100 - 120	25 a 30	N.D.
Perejil	1 a 18	40 a 45	50 a 55	5 a 10	10 a 15	15 rollos
Puerro	6 a 12	41 a 45	60 a 65	10 a 12	12 a 15	15 rollos /mes
Rábano	3 a 5		35 a 45	15 a 20	5	20 rollos
Remolacha	6 a 10	30 a 35	60 a 65	10 a 15	10 a 12	30 unidad
Repollo	3 a 8	22 a 35	60 a 65	25 a 30	25 a 30	10 a 12 kg
Tomate	4 a 12	25 a 28	80 a 85	40 a 60	120 a 140	5 a 8 kg /planta
Vainica	3 a 6		45 a 50	20 a 25	20 a 25	4 a 5 kg
Zanahoria	7 a 15		90 a 95	a chorro	15 a 25	N.D.
Zuchini	3 a 5	12 a 14	45 a 50	40 a 50	50 a 60	N.D.

**Fuente:** Proyecto Hidroponía, Granja Modelo, año 2003

#### **2.4.5.1 Raíz y las condiciones óptimas para su desarrollo**

Además del uso o parte aprovechable de las plantas, para cultivar en hidroponía se debe poner atención en la raíz y por ello enlistamos las condiciones óptimas para su mejor desarrollo (Oasis, 2007).

- Agua, la necesaria todo el tiempo.
- Nutrimientos minerales esenciales (en cantidades suficientes y balanceadas).
- Oxígeno suficiente para la respiración celular.
- Temperatura adecuada para el funcionamiento óptimo de la raíz.
- Sin plagas, inóculos de enfermedades o malezas.
- Sin sales nocivas, elementos tóxicos o desbalances de pH y CE.
- Oscuridad.
- Espacio para crecer lo necesario para funcionar bien.

#### **2.4.6 Lactuca Sativa (Lechuga)**

Lactuca Sativa, la lechuga, es una planta anual propia de las regiones semi-templadas, que se cultiva con fines alimentarios. Debido a las muchas variedades que existen, y su cultivo cada vez mayor en invernaderos, se puede consumir durante todo el año (Mundo Guerrero, 2013). Normalmente se toma cruda, como ingrediente de ensaladas y otros platos, pero ciertas variedades, sobre todo las de origen chino, poseen una textura más robusta y por ello se emplean cocidas (Mundo Guerrero, 2013).

La lechuga tiene un ciclo muy corto y es poco exigente en temperatura, por esto resulta muy interesante para cultivo protegido en las regiones del Mediterráneo, donde es consumida de mudo habitual (FAO, 2002).

La germinación dura 3 días a una temperatura entre 15 y 20 °C y 15 días cuando la temperatura es de 5 °C. Si se sobrepasa los 25 °C, la germinación ya no es tan efectiva dándose la circunstancia de que a 30°C sólo alcanza el 12 %. Por lo tanto cuando el tiempo es caluroso y soleado, debe de sombrearse el semillero con el fin de

bajar la temperatura del suelo. Las semillas de lechuga tienen una prolongada latencia, que puede romperse a baja temperatura, basta con humedecer las semillas y guardarlas a 2 °C durante 48 horas (FAO, 2002).

La lechuga puede tolerar las heladas ligeras pero no resiste bien temperaturas superiores a los 30 °C (FAO, 2002).

La formación del cogollo depende del balance del balance entre la intensidad luminosa y la temperatura, de tal modo que cuando en invierno la luminosidad es débil y la temperatura nocturna es elevada, se puede inhibir el acogollado. También se puede observar este fenómeno cuando se utiliza un “acolchado radiante con agua caliente cercana a la planta.

Por otra parte cuando los días son largos y las temperaturas altas, la lechuga tiende a subir a flor. Esto es más frecuente en verano y en otoño que en invierno y primavera, aunque se dispone de cultivares que son resistentes a la subida (FAO, 2002).

#### **2.4.6.1 Importancia económica mundial del cultivo de lechuga**

A nivel mundial en el 2011 se reporta una producción de 22 382 300 toneladas y los principales países productores son los siguientes:

Tabla 2.4. Situación mundial de la lechuga en diferentes países y regiones en 2011

<i><b>País o Región</b></i>	<i><b>Área Cosechada (ha)</b></i>	<i><b>Producción (toneladas)</b></i>	<i><b>Rendimiento (kg/ha)</b></i>
Australia	6 121	127 200	20 786
Austria	1 600	61 900	38 688
Bangladesh	7 689	32 000	4 162
Bélgica	2 204	80 000	36 298
Canadá	3 891	92 400	23 739
Chile	6 600	90 000	13 636
China	500 250	11 005 000	21 999
Egipto	6 000	140 000	23 333
Francia	16 500	526 000	31 879
Alemania	8 200	200 000	24 390
Grecia	4 200	80 000	19 048

Guatemala	1 900	38 000	20 000
Irán	3 600	90 000	25 000
Israel	950	40 000	42 105
Italia	43 604	846 800	19 420
Japón	22 000	530 000	24 091
Jordania	1 278	35 000	27 383
México	11 290	243 400	21 559
Holanda	2 000	73 000	36 500
Nueva Zelanda	1 300	31 000	23 846
Nigeria	4 400	40 000	9 091
Perú	2 900	33 000	11 379
Portugal	4 400	95 000	21 591
Sudáfrica	2 194	33 000	15 003
Korea del Sur	7 000	210 000	30 000
España	39 000	920 000	23 590
Suecia	1 160	35 000	30 172
Suiza	2 500	53 000	21 200
Turquía	19 700	375 000	19 036
Inglaterra	5 514	135 000	24 483
Estados Unidos	131 280	4 976 900	37 910
Venezuela	1 500	31 000	20 667
África	15 484	270 600	17 477
Asia	689 699	13 213 300	19 158
Este de Europa	5 558	57 600	10 354
Oeste de Europa	130 425	3 098 800	23 759
Norte y Centro América	150 838	5 374 400	35 630
Sur América	15174	198400	13078

**Fuente:** FAOSTAT, 2011.

#### **2.4.6.2 Producción de Lactuca Sativa (Lechuga) en el Perú**

Según la Oficina de Estudios económicos y Estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego, en el 2013 se han producido un total de 59 925 toneladas métrica de Lactuca Sativa (Lechuga), siendo Lima la mayor productora de esta especie con un total de 37 550 toneladas métricas, y quedando la Región Junín en un segundo puesto con una producción de 6 913 toneladas métricas ( Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

Tabla 2.5. Producción de Lactuca Sativa (Lechuga) en el Perú

Departamento	Toneladas	Departamento	Toneladas
--------------	-----------	--------------	-----------

Tumbes	-	Arequipa	2 310
Piura	33	Moquegua	199
Lambayeque	774	Tacna	1 658
La Libertad	4 817	Ayacucho	243
Cajamarca	94	Apurímac	391
Amazonas	816	Cusco	1 074
Ancash	2 028	Puno	31
Lima	37 550	San Martín	-
Ica	262	Loreto	456
Huánuco	218	Ucayali	42
Pasco	-	Madre de Dios	15
Junín	6 913	<b>Total</b>	<b>59 925</b>
Huancavelica	-		

**Fuente:** Ministerio de Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos.

### 2.4.6.3 Clasificación Botánica

La lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledonéa, autógama, perteneciente a la familia Compositae, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. y está ampliamente relacionado con la lechuga silvestre *Lactuca serriola*; cuando joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta (Fajardo Valderrama, 2016).

Tabla 2.6. Clasificación Taxonómica de la Lechuga

<b>Reino</b>	Vegetal	
<b>División</b>	Espermatofita	
<b>Clases</b>	Angiospermas	
<b>Subclase</b>	Dicotiledónea	
<b>Familia</b>	Compositae (Asteracea)	
<b>Tribu</b>	Cichorieae	
<b>Género</b>	Lactuca	
<b>Especie</b>	sativa	
<b>Variedad Botánica</b>	Capitata	Lechuga de cabeza, lisa o mantequilla
	Longifolia	Romana o cos

	Inybabacea	Lechugas de hoja o foliares
--	------------	-----------------------------

**Fuente:** Osorio & Lobo (1983)

La lechuga comercial es una planta anual, de cabeza paniculada y flor amarilla, el ovario es unicelular y su único óvulo madura en semilla (Osorio & Lobo, 1983). Dependiendo del tipo de hoja, se presentan dos variedades botánicas: la lechuga de hoja suelta y las lechugas de cabeza. El tipo de hoja suelta corresponde a la variedad botánica Crispa y el tipo de cabeza a la variedad Capitata (Osorio & Lobo, 1983).

#### **2.4.6.4 Origen**

La lechuga es nativa de la India, Asia Central. Es citada con frecuencia en la antigua mitología: “Afrodita colocó a Adonis, muerto por el jabalí, sobre un lecho de lechugas”. Algunos escritores, desde Plinio en su “Historia Natural” hasta Beatriz Potter, en sus “Tales of the Flopsy Bunnies”, hablan de sus cualidades soporíferas; otros exaltan sus saludables propiedades.

Según Aristóteles, hasta los dragones sabían que su jugo lechoso aliviaba las náuseas que padecían en primavera (Zambrano Mora, 2014).

#### **2.4.6.5 Adaptación General**

Esta hortaliza es típica de climas frescos, en los trópicos se encuentra en las elevaciones con climas templados y húmedos que favorecen su desarrollo. En latitudes con estaciones marcadas se produce a fines de la primavera y cuando comienza el otoño, donde las temperaturas no son mayores a 21 °C. Las temperaturas altas aceleran el crecimiento del tallo floral y la calidad de la lechuga de deteriora rápidamente con el calor, debido a una acumulación de látex amargo en su sistema vascular.

#### **2.4.6.6 Morfología**

##### **a) Raíz**

La raíz principal es pivotante, corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; crece muy rápido, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de

absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Alzate & Loaiza, 2008).

#### **b) Tallo**

El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Valadez, 1997).

#### **c) Hojas**

Por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Valadez, 1997).

#### **d) Flores**

Las flores están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. El florete tiene pétalos periféricos ligulados, amarillos o blancos. Los interiores presentan corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco estambres adheridos a la base de la corola, con presencia de cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentososo y al madurar, la semilla forma el papus o vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila, o sea, por el viento. Los pétalos son soldados (gamosépalos) (Valadez, 1997).

El gineceo es unicarpelar, con ovario ínfero y el estigma bifido, que se poliniza al desarrollarse y atravesar el tubo de las anteras. Los lóbulos del estigma se separan, lo que permite la caída del polen sobre los papilos estigmáticos. Las flores son perfectas y la corola es amarilla, simpétala. El ovario es bilobulado. Los cinco estambres están, cada uno, unidos separadamente a la base del tubo de la corola, pero las anteras están unidas y forman un cilindro alrededor del estilo (Leslie & Pollard, 1954).

Es considerada una planta de flores perfectas que se autofecunda, en la cual solamente un 10% de la fecundación es cruzada; ésta se debe al transporte de polen de una planta a otra por los insectos (Valadez, 1997).

#### **e) Semilla**

El fruto es un aquenio típico y la semilla es exalbuminosa, picuda y plana, la cual botánicamente es un fruto (Osorio & Lobo, 1983). Tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5 mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoso, que facilita la diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio (Valadez, 1997)

#### **2.4.6.7 Valor Nutricional de la Lechuga**

El valor nutricional de la lechuga se resalta por el contenido de minerales y vitaminas. Es una fuente importante de calcio, hierro y vitamina A, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina. El contenido nutricional tiene similitud con otras hortalizas, como el apio, el espárrago y el habichuelín o ejote. Dado su bajo valor calórico, se ha tornado en ingrediente básico en las dietas alimenticias (Whitaker & Ryder, 1964).

El aporte de calorías de esta hortaliza es muy bajo, mientras que en vitamina C es muy rica; las hojas exteriores tienen más cantidad de esta vitamina que las interiores. También resulta una fuente importante de vitamina K; por lo tanto, protege de la osteoporosis. Otras vitaminas que destacan en la lechuga son la A, la E y el ácido fólico. Así mismo, aporta mucho potasio y fósforo y está compuesta en un 94% de agua (Alzate & Loaiza, 2008).

La lechuga tiene funciones medicinales; es refrescante y digestiva; posee virtudes calmantes y notable eficacia como soporífero, por tanto evita el insomnio, la nerviosidad, el mal humor, la irritabilidad, entre otras. Macerada, junto con avena, sirve como pomada que alivia irritaciones de la piel, alergias, erupciones y quemaduras. También, asociada con achicoria y escarola, sirve para prevenir la

desmineralización y sus consecuencias, por ejemplo raquitismo, tuberculosis, caries dentaria y ósea y combinada con pepino y avena, se elabora una pomada útil contra irritaciones de la piel, sabañones y quemaduras. Además, la cantidad de celulosa y agua orgánica que contiene la lechuga en sus tejidos ayuda considerablemente en el proceso digestivo (Fajardo Valderrama, 2016).

El valor nutritivo de la lechuga difiere según su variedad. La lechuga en general provee fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Osorio & Lobo, 1983).

Las lechugas cos o romana y de hoja, aventajan a la lechuga de cabeza por su contenido en vitamina A y vitamina C; esto ocurre, probablemente, por la mayor proporción de tejido verde producido por esas variedades, mientras que las tipo mantequilla o lisas son intermedias (Whitaker & Ryder, 1964).

La lechuga es también un buen recurso de vitamina C, calcio, hierro y cobre. Los tallos proveen fibra dietética que es ingrediente básico en dietas incalóricas, mientras que las vitaminas y minerales están concentrados en la parte más delicada de sus hojas (Granval & Graviola, 1991).

Algunas variedades de lechuga se cultivan para la obtención de lactucarium, que es un extracto de lechuga espigada y desecada que se puede utilizar como calmante y somnífero, especialmente para los niños. También el jugo de lechuga entra en la composición de algunos productos de cosmética (Granval & Graviola, 1991).

En el proceso evolutivo, la lechuga pasó de ser una maleza de sabor amargo, florecimiento prematuro y abundante producción de semilla, a una planta con excelente palatabilidad y con periodo vegetativo más largo. En cuanto a sus características hortícolas superiores, la calidad se la confiere una serie de atributos relacionados con la apariencia del producto comercial, que varían de acuerdo con el gusto del consumidor y al cultivar: formato, color, textura, grosor y

bordes de las hojas, con o sin cabeza, tamaño y forma de cabeza y arquitectura de la nervadura principal de las hojas basales con o sin cera (Fajardo Valderrama, 2016).

Tabla 2.7. Composición de la Lechuga (*Lactuca sativa* L.) por 100 gramos de porción comestible

<b>Nombre</b>		<b>Lechuga arrepollada (Iceberg)</b>	<b>Lechuga Butter Head</b>	<b>Lechuga romana</b>
Agua	%	95,64	95,63	94,61
Energía	g	14	13	17
Proteína		0,9	1,35	1,23
Grasa total		0,14	0,22	0,3
Carbohidratos		2,97	2,23	3,28
Fibra dietética		1,2	1,1	2,1
Ceniza		0,36	0,57	0,58
Calcio	mg	18	35	33
Fósforo		20	33	30
Hierro		0,41	1,24	0,97
Tiamina		0,04	0,06	0,07
Riboflavina		0,03	0,06	0,07
Niacina		0,12	0,36	0,31
Vitamina C		3	4	24
Vitamina A		25	166	290
Ácidos grasos monoinsaturados	g	0,01	0,01	0,01
Ácidos grasos poliinsaturados		0,07	0,12	0,16
Ácidos grasos saturados		0,02	0,03	0,04
Colesterol	mg	0	0	0
Potasio		141	238	247
Sodio		10	5	8
Zinc		0,15	0,2	0,23
Magnesio		7	13	14
Vitamina B6		0,04	0,08	0,07
Vitamina B12	mcg	0	0	0
Ácido fólico		0	0	0
Folato equiv. FD		29	73	136
Fracción	%	0,95	0,74	0,94

**Fuente:** (Incap, 2012)

#### **2.4.6.8 Clima**

Las semillas de lechuga comienzan a germinar e temperatura de 2 a 3°C, siendo la óptima de 20 a 25°C en el suelo, en el cual pueden emerger las plántulas a los 4 ó 5 días. El rango de temperatura para su desarrollo es de 13 a 25°C, siendo la óptima entre los 16 y 22°C (Alvarado Chávez, Chávez Carranza, & Anna Wilhelmina, 2001).

#### **2.4.6.9 Requerimientos**

Toda planta crece a partir de factores fundamentales (Mundo Guerrero, 2013), que son:

- Luz
- Agua
- Nutrientes
- pH y electro conductividad
- Aire
- Temperatura
- Humedad relativa

##### **a) Luz**

El requerimiento mínimo de luz directa que debe de tener una hortaliza es de 6 horas (Mundo Guerrero, 2013)

Es muy importante que el lugar de cultivo perciba las 6 horas de luz y que esta sea de manera directa, es decir, que no haya interferencia entre la luz y la planta. Si falta esta cantidad de luminosidad se empezará a tener diversos problemas, primero se notará que las plantas detendrán su crecimiento y posteriormente las hojas y tallos perderán su color hasta volverse amarillentas; finalmente las flores aplazarán su salida, o si ya están presentes, caerán afectando directamente su producción, como en el caso de tomate que depende de las flores para poder fructificar (Mundo Guerrero, 2013).

##### **b) Agua**

Es fundamental la humedad en todo medio ambiente de la planta. Así como en los sistemas convencionales la calidad del suelo es determinante del éxito, en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua debe de estar exenta de

contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana (Mundo Guerrero, 2013).

### **c) Nutrientes**

Los nutrientes son importantes en la planta y tienen actividades metabólicas en las plantas. En los suelos se encuentran disponibles de forma natural, aunque cada tipo de suelo contiene diferentes cantidades de nutrientes; por eso es que antes de cultivar en suelo se hace un análisis el cual determinará que nutrientes existen en ese sitio, después se selecciona abonos que ayudan a fertilizarlo y compensar las deficiencias. Cuando cultivamos a través de hidroponía se utilizan sustratos que no contienen nutrientes, y esa es la razón de que tengamos que proporcionárselos de forma indirecta a las plantas a través de soluciones nutritivas (Mundo Guerrero, 2013).

Se conocen hoy 16 nutrientes necesarios para la vida vegetal, que suelen clasificarse en dos categorías, nitrógeno, fósforo y potasio son llamados nutrientes primarios o macronutrientes, debido a su pale específico. El nitrógeno regula la producción de proteínas y es primario en el crecimiento de las hojas y tallos. El fósforo es indispensable para la fotosíntesis, y asegura el mecanismo de transferencia energética dentro de la planta, el potasio es esencial para la producción de azúcares y almidones, así como para la división celular (Mundo Guerrero, 2013).

Elementos secundarios son el magnesio (fundamental para absorber energía lumínica y neutralizar residuos tóxicos producidos por la planta), y el calcio, sin el cual no es posible la producción y crecimiento de células, pues debe de estar presente siempre en la punta de cada raíz, hoja y flor (Mundo Guerrero, 2013)

Se llaman micronutrientes (por actuar en cantidades mínimas, básicamente como catalizadores para distintos procesos) siete elementos más: hierro, azufre, manganeso, boro, molibdeno, zinc y cobre. Esto no agota los elementos actuales en el desarrollo vegetal, pero los restantes (aluminio, cloro, cobalto, yodo, selenio, silicio, sodio y vanadio) no suelen incluirse en las mezclas de nutrientes al

existir normalmente como impurezas del agua, o añadidos a otros nutrientes (Mundo Guerrero, 2013).

#### **d) pH**

Un parámetro a controlar en los sistemas hidropónicos es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidez o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la absorción de los nutrientes por parte de la planta (Mundo Guerrero, 2013).

El pH es una medida que tiene un rango de 0-14 en soluciones acuosas, con un punto medio de 7, entre los valores de pH 5.5 – 7.0, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH (Mundo Guerrero, 2013).

Para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH se debe adicionar una base o álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (excepto para aguas con niveles significativos de sodio). Éstos ácidos y bases se deben utilizar diluidos a concentraciones de 1N. Se sugiere el uso de un pHmetro o cinta de pH para el control de éste parámetro. Asimismo, se recomienda calibrar el pHmetro con una solución tampón (buffer) antes de utilizarlo (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000).

#### **e) Electro conductividad**

Es la capacidad de un cuerpo o medio para conducir la corriente eléctrica, es decir, para permitir el paso a través de las partículas cargadas, bien sean los electrones, los transportadores de carga de conductores metálicos o semi-metálicos, o iones, los que transportan la carga de disoluciones de electrolitos (Mundo Guerrero, 2013)

La conductividad indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 mS/cm. Se recomienda realizar esta

evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post-almácigo y trasplante definitivo (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000). Si la solución nutritiva supera el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductivímetro, el cual debe calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000).

Los niveles de conductividad eléctrica por cultivo son los siguientes:

Tabla 2.8. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo

<b>Cultivo</b>	<b>Conductividad Eléctrica dS/m</b>
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

**Fuente:** Mundo Guerrero, 2013

Es primordial el monitoreo constante de estos valores ya que todos los elementos nutritivos que usamos tienen iones que al contacto con el agua y con otros nutrientes van cambiando o simplemente los va utilizando la planta y en un momento dado se podría generar una deficiencia, o bien dichos elementos pueden estancarse y propiciar toxicidad en las plantas (Mundo Guerrero, 2013).

#### **f) Aire**

El aire respirable para animales en general, incluyendo a nuestra especie, es un regalo del mundo botánico. A través de los estomas – poros microscópicos de las hojas-, las plantas absorben anhídrido carbónico y oxígeno, pero devuelven mucho más de lo segundo, cosa que hace la atmósfera respirable para el animal, como el animal hace lo contrario, exhalando ante todo anhídrido carbónico, la atmosfera es respirable para las plantas (Mundo Guerrero, 2013).

La falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario ésta se torna oscura debido a muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000).

El agua se cambia totalmente dependiendo de la coloración de la raíz o por la presencia de algas cada tres semanas. La aireación se realiza por lo menos una vez al día, preferiblemente por la mañana. El nivel o contenido de agua se debe revisar todos los días en cada bancal y al disminuir 3 cm de los 10 cm recomendados de profundidad, debe completarse nuevamente con solución (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000)

#### **g) Temperatura**

Cada planta crece una cierta temperatura, poseen una temperatura óptima para cada fase de su crecimiento, y también rangos de temperatura en donde pueden vivir, pero la calidad de la planta no es la misma, algunas plantas, generalmente las que comparten ecosistemas, tienen los mismos rangos de temperaturas, es muy importante controlar la temperatura de todo el sistema hidropónico, sobre todo con especies de plantas que tienen poco rango de temperatura, las cuales por lo general son mucho más difícil de cultivar (Mundo Guerrero, 2013).

#### **h) Humedad relativa**

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido, en comparación con la parte aérea, por lo cual es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, por breve que sea. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%; la alta humedad causa problemas porque favorece el ataque de enfermedades como el moho blanco causado por el hongo

*Sclerotinia sclerotiorum*, el moho gris causado por *Botrytis cinerea* y el *mildeo velloso* causado por el hongo *Bremia lactucae*.

#### 2.4.6.10 Grupos Varietales

##### a) Lechugas de cabeza, arrepollada o Crisp Head.

En este grupo se encuentran las lechugas conocidas como Batavia e Iceberg, que se caracterizan por presentar cabeza cerrada y mayor resistencia al daño mecánico. En su interior, las hojas forman un cogollo apretado o cabeza firme, las hojas exteriores son abiertas, gruesas, crujientes, con bordes rizados y sirven de envoltura y protección al cogollo (Fajardo Valderrama, 2016).

Las principales variedades de lechuga son:

Tabla 2.9. Lechugas de cabeza, arrepollada o Crisp Head

Variedad	Descripción	Imagen
<b>Icevic</b>	Es una lechuga Iceberg tipo salinas, presenta una planta de vigor medio, con color verde brillante y excelente formación y calibre. Se destaca por su cierre, precocidad y tolerancia al espigado. Recomendada para consumo fresco e industria. Presenta resistencia al hongo <i>Bremia lactucae</i> , causante del mildeo velloso, razas	

<p><b>Coolguard</b></p>	<p>Es una variedad de gran tolerancia al frío y gran tamaño de cabeza, con pesos que oscilan entre 900 y 1.100 gramos. Tiene cabezas redondas y firmes, de color verde oscuro y hojas envolventes grandes con muy buena cobertura; es una variedad muy uniforme, de alto vigor, por lo que se adapta a un variado tipo de climas. Coolguard es la variedad más sembrada en la Sabana de Bogotá. Lechuga variedad Arizona. Esta variedad es tolerante a mildew veloso esclerotinia y a golpe de sol.</p>	
<p><b>Arizona</b></p>	<p>Es una lechuga tipo Iceberg con forma de cabeza redonda achatada, compacta, de buen peso y forma; cabezas muy uniformes en campo, excelentes para supermercado y plaza. Se adapta entre 2.000 y 2.800 msnm. Un gramo de semillas puede contener de 881 a 991 semillas.</p>	
<p><b>Grandes Lagos 118</b></p>	<p>Variedad de buen comportamiento en las épocas de mayor temperatura; en periodos de muy baja temperatura y alta nubosidad tiende a la formación de cabezas más flojas, que son preferidas en el mercado de la región Caribe. Tiempo para</p>	

	<p>cosecha: 55-60 días; peso promedio de cabeza: 600-700 gramos; resistencia o tolerancia a enfermedades: resistente a la quemadura de las puntas o tipburn</p>	
<p><b>Winter Haven</b></p>	<p>Lechuga tipo Batavia; es una planta vigorosa, de cabezas grandes, compactas y uniformes, con buen color y apariencia y de buena tolerancia al frío. Altura promedio: 21 cm; diámetro promedio: 19 cm; peso promedio planta: 900 gramos, días para cosecha: 56-62. La cosecha es concentrada y uniforme y la cabeza presenta un color verde oscuro.</p>	
<p><b>Luana</b></p>	<p>Variedad tipo Batavia, de plantas uniformes y con buena adaptación, de cabeza grande, buen tamaño, compacta y color verde brillante. Días para cosecha: 63-68. Peso promedio planta: 860-904 gramos. Diámetro promedio: 13,2 cm. Longitud promedio: 12,6 cm. Buena adaptación a zonas intermedias y frías.</p>	

<p><b>Salinas 88 Supreme</b></p>	<p>Variedad de tipo Batavia, de buen desarrollo y vigor, follaje color verde oscuro, precoz para cosecha, cabeza con forma redonda, grande, de buen peso, compacta. Días para cosecha: 59-68. Peso promedio planta: 833 g. Diámetro promedio: 15,7 cm. Longitud promedio: 10,7 cm..</p>	
<p><b>Alpha</b></p>	<p>El follaje posee muy buen vigor, es de hábito semierecto y color verde intermedio brillante; la cabeza es de forma ligeramente achatada, color verde claro, firmeza excelente y nervaduras delgadas. Días para cosecha: 70-75 después de trasplante. Densidad de siembra: 50.000 a 70.000 plantas/ha. Resistencia a mildew veloso (razas I, II, III).</p>	
<p><b>Badger</b></p>	<p>Lechuga tipo Batavia de alta calidad y sabor, con cabezas compactas de tamaño grande a mediano (peso entre 900 y 1.200 g), color verde y excelente apariencia externa e interna. Días para cosecha: entre 73 y 77 generalmente. Es tolerante a mildew veloso</p>	

**Fuente:** Fajardo Valderrama, 2016

**b) Lechugas mantequilla o Butter Head**

Presentan cabeza cerrada o semiabierta, no apretada, superficie de las hojas muy lisa, textura suave, un tanto aceitosa, hojas verdes-

amarillentas. Este tipo de lechugas está conformado por variedades como White Boston, Floresta y Regina (Vallejo & Estrada, 2004).

Las variedades de lechuga tipo mantequilla son:

Tabla 2.10. Lechugas mantequilla o Butter Head.

Variedad	Descripción	Imagen
<b>Albert</b>	<p>Lechuga verde lisa mantecosa o española, el tallo es cilíndrico y ramificado, muy corto e imperceptible, las hojas están dispuestas en roseta, se despliegan al principio y se acogollan más tarde, con formación de una cabeza compacta, grande y uniforme, de hojas suaves pero firmes, color verde medio a oscuro brillante, con alta calidad y uniformidad. Un gramo de semillas de este material puede contener entre 900 y 1.000 semillas. Es tolerante al virus del mosaico de la lechuga (alta tolerancia) y al mildew veloso o <i>Bremia lactucae</i></p>	
<b>Elisa</b>	<p>Lechuga tipo lisa verde, plantas de porte grande, compactas, de hojas color verde claro. Uniformidad en campo y alto rendimiento. Se manejan distancias de siembra de 0,3 m x 0,3 m, para una densidad de 65.000-75.000 plantas/ha; consumo de semillas/ha: 82.500.</p>	

<p><b>White Boston</b></p>	<p>Lechuga blanca lisa adaptada a climas entre 1.800 y 2.600 msnm. Planta de tamaño medio, con cabeza no muy compacta, de color verde claro. Exige un manejo cuidadoso ya que puede sufrir magulladuras. Se cosecha a los 75 a 90 días del trasplante.</p>	
<p><b>Justine</b></p>	<p>Planta de gran vigor, hojas suaves y semierectas, de color verde claro. Excelente adaptación a condiciones frías, cálidas y secas; de cosecha concentrada, que demora entre 65 y 75 días después de trasplante. Tiene una densidad de siembra de 0,3-0,4 m entre líneas y 0,25-0,3 m entre plantas</p>	

**Fuente:** Fajardo Valderrama, 2016

**c) Lechugas cos o romanas.**

Sus hojas son alargadas, con bordes enteros y nervio central ancho. Estas forman un cogollo ligeramente apretado. El color característico de las hojas es verde oscuro, aunque existen variedades de color rojo oscuro (Fajardo Valderrama, 2016).

Las principales variedades tipo Romana son:

Tabla 2.11. Lechugas cos o romanas

Variedad	Descripción	Imagen
<p><b>Parris island cos</b></p>	<p>Su tallo es cilíndrico y ramificado, muy corto e imperceptible; las hojas están en roseta y son erectas con una cabeza bien definida, semicrespas, color verde, con tamaño de cabeza entre 20 y 25 cm. Un gramo de</p>	

	semillas de este material puede contener de 900 a 1.000 semillas.	
<b>Mirella</b>	Planta con cabeza grande, uniforme y compacta, hojas de color verde oscuro. Presenta excelente sabor y textura. Días para cosecha: 56. Altura: 25,9 cm. Peso promedio de planta: 700 gramos.	
<b>Cogollos de Tudela Rose Gem</b>	Son lechugas tipo romana enanas, de buena calidad, uniformes y de buena producción en campo. Alcanza pesos de 100 a 150 gramos. Son demandadas por supermercados de lechugas gourmet y restaurantes especializados. Se adaptaron a clima frío y medio. Son plantas compactas y homogéneas, de hojas lobuladas, de color rojo a café, con un ciclo de 55 a 66 días después de trasplante.	
<b>Cogollos de Tudela verde</b>	Son lechugas de tipo romana enanas, de excelente calidad, uniformidad y producción, con cabezas muy tiernas y crujientes, de un excelente sabor y presentación, con color verde intenso en el exterior y blanco fresco en el interior. Los cogollos alcanzan pesos entre 100 y 150 gramos por unidad. Se da en clima frío y medio. Es una planta	

	compacta y pesada, de hoja ovalada, color verde oscuro intenso, con un ciclo de 60 a 70 días después de trasplante	
--	--	--

**Fuente:** Fajardo Valderrama, 2016

#### **d) Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas**

No forman cabeza y las hojas son sueltas y pueden ser crespas lisas, de textura suave; la coloración varía de verde claro a verde oscuro y de rojo a morado en diferentes tonalidades. (Vallejo & Estrada, 2004). En este grupo se encuentran Lollo Rosa (crespa morada), Lollo Bionda (crespa verde) y hoja de roble, entre otras (Alzate & Loaiza, 2008). Este tipo de lechugas se conocen como lechugas gourmet.

Las variedades de lechuga sin cabeza o de hoja suelta son:

Tabla 2.12. Lechugas sin cabeza, de hojas sueltas

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
<b>Red salad bowl improved</b>	Es una planta de porte pequeño, tipo hoja de roble, sus hojas presentan coloración roja, de forma festoneada y textura suave, se cosecha a los 40-49 días después del trasplante. Su longitud promedio es de 12 cm, diámetro de 7 cm.	

<p><b>Verde Crespa Casabella</b></p>	<p>Es de tallo cilíndrico y ramificado, muy corto e imperceptible; las hojas, fuertemente crespas, están colocadas en roseta y exhiben buena uniformidad, color verde claro brillante, tamaños medios a grandes. Es un cultivar de lechuga que no produce cabeza, con hojas reticuladas y suaves. Un gramo de semillas de este material puede contener de 900 a 1 000 semillas.</p>	
<p><b>Verónica</b></p>	<p>Tipo crespa verde claro, planta de porte grande, de alta uniformidad y rendimiento. Se cosecha a los 56 días después de trasplante. Tiene una altura promedio de 20,3 cm y un peso promedio de 480 gramos. Posee alta resistencia a florecimiento precoz.</p>	
<p><b>Bérgamo</b></p>	<p>Lechuga tipo Lollo Bionda de hojas fuertemente crespas. Se caracteriza por el color de sus hojas, verde intenso claro, que le confiere una buena presentación. Tiene cabeza de domo muy uniforme que pesa entre 250 y 300 gramos. Se adapta a climas fríos y medios.</p>	

<p><b>Vera</b></p>	<p>Es de tipo crespa verde, de excelente presentación (muy crespa). Planta de porte grande, vigoroso, con hojas grandes de color verde claro, de alta uniformidad y rendimiento. Posee alta resistencia al florecimiento precoz.</p>	
<p><b>Grega</b></p>	<p>Es de hojas recortadas de color verde. Se cosecha a los 49 días después del trasplante. Es una planta con una altura promedio de 29 cm, diámetro de 11,5 cm y peso promedio de 507 gramos</p>	
<p><b>Lollo Rosa</b></p>	<p>Morada crespa, tallo cilíndrico, ramificado, muy corto e imperceptible, hojas colocadas en roseta, muy crespas, de color morado brillante y verde claro intenso en el interior, tamaño medio a grande. Son plantas compactas y homogéneas, con peso aproximado de 150 a 180 gramos. No producen cabeza.</p>	
<p><b>Veneza Roxa</b></p>	<p>Tipo crespa morada, planta de porte grande, vigoroso, con hojas grandes de color morado y verde brillante. Alta uniformidad y rendimiento. Se cosecha a los 56 días después de trasplante. Altura promedio de 21 cm y peso promedio de 420 gramos.</p>	

<b>Sanguine</b>	Planta de buen vigor, hojas crespas y color lila oscuro brillante. Excelente adaptación a condiciones frías, cálidas y secas. Ideal para hidroponía, cosecha concentrada. Se cosecha a los 55 a 65 días después de trasplante.	
-----------------	--	---

**Fuente:** Fajardo Valderrama, 2016

#### 2.4.7 Solución Nutritiva

Las plantas a través de su sistema radicular obtienen oxígeno, agua y los nutrientes minerales necesarios para su normal crecimiento y desarrollo. Los nutrientes esenciales son aquellos imprescindibles para la vida del organismo vegetal y cuya función en la célula es tan específica que no pueden ser reemplazados por otros. Están implicados directamente en el metabolismo celular y son imprescindibles en la mayoría de las plantas superiores. Los nutrientes esenciales son requeridos por los vegetales en cantidades variables. En este sentido, podemos indicar que algunos de ellos forman las estructuras cuantitativamente más importantes o activas en el metabolismo, y por lo tanto son requeridos en cantidades relativamente elevadas. Estos se denominan elementos mayores o macronutrientes, los que son requeridos en orden de g/L de solución y en este grupo se encuentra el C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S. Otro grupo de nutrientes esenciales se necesitan en cantidades más reducidas y son denominados elementos menores o micronutrientes. Estos se requieren en orden de mg/L de solución y entre ellos figuran el Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni y Cl. La necesidad de menor cantidad no implica que tengan menor importancia, solo que son requeridos en menores cantidades relativas respecto a los macronutrientes (Beltrano & Gimenez, 2015).

Para la preparación de la solución nutritiva es preferible utilizar fertilizantes denominados de calidad o grado de invernadero. Una calidad pobre del fertilizante contendrá siempre gran cantidad de

impurezas (arcilla, arena y partículas de limo), las cuales pueden formar una capa sobre la zona radicular; dicha capa no solamente puede impedir alcanzar esta zona a algunos nutrientes, sino que también obstruirá o taponeará las líneas de alimentación de agua en sistemas hidropónicos automatizados (Malca, 2001).

#### **2.4.7.1 Preparación de la solución nutritiva**

En la literatura se reportan un gran número de soluciones nutritivas propuestas que han sido previamente evaluadas en un amplio número de hortalizas y la mayoría responde adecuadamente a las necesidades de los cultivos. Normalmente se propone en forma general para todos los casos la preparación de dos soluciones madre, la solución A en la cual se incluyen todos los macronutrientes y la solución B en la cual se incluyen los micronutrientes. Los agricultores que se dedican a la hidroponía únicamente necesitan mezclas ambas soluciones en agua según lo que recomiende las etiquetas de los envases.

#### **2.4.7.2 Calidad del agua para la solución nutritiva**

El agua en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, el cual en concentraciones altas causa complicaciones en toxicidad a las plantas. Mediante el agua se proporciona a las plantas la solución nutritiva.

#### **2.4.7.3 Duración y cambio de la solución nutritiva**

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución (si es alto o bajo). La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 4 a 6 semanas (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000).

En el caso del cultivo de lechuga, la etapa definitiva dura 4 semanas y no se cambia la solución nutritiva durante este tiempo. En el cultivo de apio, se sugiere renovar totalmente la solución nutritiva a las 4 semanas, porque en este período, prácticamente ha absorbido todos los nutrientes, lo cual se ha observado en un control continuo de la conductividad eléctrica (Chang, Hoyos, & Rodríguez, 2000).

#### **2.4.7.4 Solución Hidropónica La Molina**

La solución hidropónica La Molina fue formulada después de varios años de investigación en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Con el propósito de difundir la hidroponía con fines sociales, se eligieron para su preparación, fertilizantes que se pueden conseguir con facilidad en las diferentes provincias del Perú. En hidroponía es común la aplicación de dos soluciones concentradas, denominadas A y B. (UNALM, 2005)

La fórmula de la solución hidropónica La Molina® se prepara con los siguientes fertilizantes:

Tabla 2.13. Fertilizantes presentes en la Solución Hidropónica La Molina

<b><u>Solución Concentrada A:</u></b>	<b>Pesos</b>
<b>(para 5.0 litros de agua, volumen final)</b>	
Nitrato de potasio	550,0 g
Nitrato de amonio	350,0 g
Superfosfato triple	180,0 g
<b><u>Solución Concentrada B:</u></b>	<b>Pesos</b>
<b>(para 2.0 litros de agua, volumen final)</b>	
Sulfato de magnesio	220,0 g
Quelato de hierro 6% Fe	17,0 g

Solución de Micronutrientes	400 ml
<b><u>Solución Micronutrientes:</u></b>	<b>Pesos</b>
<b>(para 1.0 litro de AGUA DESTILADA o HERVIDA)</b>	
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:** Universidad Nacional Agraria La Molina

La solución nutritiva preparada con solución hidropónica La Molina tiene la siguiente concentración:

Tabla 2.14. Concentraciones de la Solución Nutritiva La Molina

210 ppm K	1,00 ppm Fe
190 ppm N	0,50 ppm Mn
150 ppm Ca*	0,50 ppm B*
70 ppm S*	0,15 ppm Zn
45 ppm Mg*	0,10 ppm Cu
35 ppm P	0,05 ppm Mo
1 ppm (una parte por millón) = 1 mg/litro	
*incluye las cantidades que aporta el agua	

**FUENTE:** Universidad Nacional Agraria La Molina

No existe una solución nutritiva óptima para todos los cultivos, porque no todos tienen las mismas exigencias nutricionales, principalmente en nitrógeno, fósforo y potasio. La fórmula puede ser ajustada de acuerdo a los fertilizantes que se puedan conseguir en otros países.

#### **2.4.7.5 Deficiencias de nutrientes**

Las toxicidades y deficiencias de nutrientes son causadas por niveles insuficientes o excesivos de éstos en el suelo y por factores ambientales que limitan su disponibilidad para las raíces de las

plantas. Los niveles de aplicación de fertilizantes deben ser programados para que los nutrientes estén disponibles y respondan a la demanda de la planta. También hay que prestar atención a los factores del suelo, por ejemplo disponibilidad y retención de nutrientes, textura, drenaje y pH, y al equilibrio entre los elementos minerales (Fajardo Valderrama, 2016).

La lechuga tiene un sistema radicular superficial y es particularmente sensible al contenido de nutrientes en la capa superficial del suelo. El crecimiento y el rendimiento son afectados por periodos de corta duración de deficiencia de nutrientes porque la temporada de cultivo es corta; encontrar síntomas visuales es el primer paso en el reconocimiento de trastornos por falta de nutrientes, pero la identificación definitiva requiere análisis de tejido foliar, y esto es particularmente importante cuando los síntomas pueden ser confundidos con los de enfermedades infecciosas (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

#### **a) Nitrógeno**

Interviene en la síntesis de las proteínas, la clorofila y el metabolismo vegetal (Gutiérrez, 2010). La deficiencia de nitrógeno se manifiesta, inicialmente, por una reducción del crecimiento vegetativo, con hojas de color verde pálido grisáceo. Cuando esta se agudiza las hojas exteriores adultas adquieren un color amarillo pálido y mueren. Los cogollos son de tamaño pequeño y en deficiencias severas pueden llegar a no formarse. La presencia de pigmentos antociánicos en las hojas produce una coloración púrpura. Algunos autores describen hojas pequeñas y correosas como características de la deficiencia de nitrógeno (Rincón, 2005).

El exceso de nitrógeno provoca un gran desarrollo vegetativo que retrasa el acogollado y favorece la proliferación de hongos, en especial *Botrytis* sp. Durante el acogollado es imprescindible asegurar un nivel alto, ya que es cuando la planta más lo demanda (Gutiérrez, 2010).

#### **b) Fósforo**

Ejerce una acción estimuladora del desarrollo radicular y de la formación del cogollo (Gutiérrez, 2010). La deficiencia de fósforo se manifiesta inicialmente por una coloración verde oscura, con tintes púrpuras que comienzan en el borde del foliolo, en el haz de la hoja y más intenso en las nerviaciones del envés. El crecimiento se detiene y se retrasa el acogollado. Cuando la deficiencia es acusada, las hojas exteriores se endurecen y toman una coloración púrpura; en fases avanzadas la deficiencia evoluciona a necrosis total de la hoja. La formación de antocianinas da una coloración púrpura al follaje (Rincón, 2005). El exceso de fósforo puede bloquear la absorción del hierro (Gutiérrez, 2010).

### **c) Potasio**

Mineral indispensable en el transporte de los hidratos de carbono. Las plantas que cubren las necesidades de potasio son más resistentes a condiciones adversas como el frío, la sequía, los ataques de plagas y enfermedades, así como a la manipulación, transporte, conservación y frescura de la lechuga (Gutiérrez, 2010). Deficiencias moderadas reducen el crecimiento. Los síntomas se inician en las hojas exteriores más viejas, que presentan una clorosis en la periferia de los folíolos, que se destaca sobre el resto que se mantiene de color verde. Esta clorosis se extiende hacia el centro del foliolo; el nervio central y los principales permanecen de color verde. Las hojas se muestran rizadas y abollonadas. Cuando la deficiencia es más acusada aparecen puntos necróticos sobre las manchas cloróticas, que se van extendiendo a toda la superficie foliar. El aspecto general de la planta es alargado y con escasa vegetación (Rincón, 2005). El exceso de potasio ocasiona hojas excesivamente duras (Gutiérrez, 2010).

### **d) Calcio**

Catión necesario en la planta para regular el pH de la célula vegetal. Es el encargado de la asimilación racional de potasio, sodio y magnesio, así como de favorecer la economía del agua en la planta (Gutiérrez, 2010).

Los primeros síntomas de deficiencia de calcio se presentan por una reducción del crecimiento, el cual se inicia visualmente en hojas jóvenes que crecen en forma de roseta, con presentación de una coloración más oscura que lo normal; algunas de ellas muestran forma de gancho. En estados avanzados las hojas aparecen totalmente cloróticas y los órganos más próximos a las regiones meristemáticas se ven fuertemente afectados; cesa el crecimiento de los mismos, lo que da la impresión que la planta ha sido cortada a esa altura. Las hojas y tallos de los ápices se necrosan y mueren (Rincón, 2005)

#### **e) Magnesio**

Nutriente esencial en la fotosíntesis de la lechuga. No es frecuente su deficiencia, siempre que el suelo disponga de 180 a 250 partes por millón (ppm) de magnesio asimilable y en el caso de las soluciones nutritivas de hidroponía si se aseguran 2-2,2 milimoles/litro del catión magnesio. El elemento debe estar bien equilibrado con el potasio y el calcio, pues estos dos cationes pueden inhibir su absorción (Gutiérrez, 2010).

Los primeros síntomas se hacen visibles en las hojas exteriores, puesto que es un elemento móvil. Al inicio, en hojas jóvenes aparece clorosis intervenal que va desde el centro de las hojas hasta los bordes. En estado adulto de la planta se produce un punteado necrótico no generalizado que se extiende formando manchas necróticas. En estados de carencia severa la mayoría de las hojas presentan coloración amarilla con el nervio central de color verde claro (Rincón, 2005).

#### **f) Azufre**

Favorece el metabolismo del nitrógeno, así como la evolución de la materia orgánica. Es catalizador para la síntesis de la clorofila y forma parte de las vitaminas, sobre todo de la vitamina B (Gutiérrez, 2010).

Cuando hay deficiencia de azufre las hojas de la lechuga se tornan de color verde amarillento y son tiesas y pequeñas. Las hojas jóvenes tienden a ser afectadas más seriamente y la planta

mantiene forma de roseta. La deficiencia de azufre es improbable en la mayoría de las regiones de producción de lechuga, debido a las emisiones del dióxido de azufre y a la utilización de fertilizantes que contienen el elemento, tal como sulfato y superfosfato de amonio. Esto puede ocurrir en áreas con precipitación muy alta, especialmente si los suelos son gruesos y ácidos. El daño directo del dióxido de azufre puede ocurrir en áreas cercanas a centros industriales. El daño agudo inicia con un color marrón oscuro, manchas secas en las hojas, que se encrespan hacia arriba y caen. Con daño crónico, las hojas se vuelven gradualmente amarillas, después blanquecinas y al final mueren (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

#### **g) Hierro**

El síntoma característico de la deficiencia de hierro es la clorosis intervenal en hojas jóvenes. La toxicidad del hierro en lechuga es rara y es más probable que ocurra cuando los suelos contienen carbonato de calcio libre y son alcalinos, en suelos inundados o compactados, en suelos muy ácidos, con inhibición de crecimiento de la raíz, lo cual puede ser inducido por altas concentraciones de otros metales pesados (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

#### **h) Manganeso**

La deficiencia de manganeso es más probable en suelos con pH altos y suelos calcáreos. En lechuga, la planta se vuelve pálida y aparecen manchas marrones en zonas cloróticas de las hojas más viejas.

La toxicidad por manganeso comúnmente ocurre en suelos ácidos (pH menores de 6) y se puede corregir encalando. Aparecen márgenes pálidas irregulares alrededor de las hojas más viejas, que de otro modo permanecen verdes (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

#### **i) Molibdeno**

La lechuga con deficiencia de molibdeno se atrofia y mantiene la forma de roseta. Las hojas son pálidas, de color verde amarillento y ligeramente ovaladas. Cuando la deficiencia es severa los folíolos

viejos presentan manchas azul grisáceo que se unen entre sí. Las hojas jóvenes progresivamente desarrollan estos síntomas. La deficiencia de molibdeno es rara, pero ocurre en regiones con altas precipitaciones y suelos ácidos y podzólicos (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

**j) Zinc**

La deficiencia de zinc aparece primero en las hojas más viejas de lechuga, como grandes áreas necróticas con márgenes oscuros. Se observa retraso en el crecimiento de las plantas, forma de roseta y una apariencia quemada. La deficiencia de zinc ocurre en suelos con bajo contenido del elemento (especialmente suelos ácidos, lixiviados y gruesos) o en suelos neutros a alcalinos con altos contenidos de materia orgánica (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

**k) Boro**

La deficiencia de boro en lechuga produce síntomas similares a la deficiencia de calcio, salvo que la necrosis es peor cerca al punto de crecimiento, que se convierte a negruzco y deja de producir hojas nuevas. Las hojas jóvenes presentan mayor deformación, son engrosadas y quebradizas. En la toxicidad por boro las hojas jóvenes muestran inicialmente un margen amarillo fino alrededor del borde. En plantas más grandes se producen puntos hundidos, gris parduzco, en las hojas más viejas, se desarrollan en un patrón en forma de anillo; las hojas se parecen a un papel. Las hojas jóvenes tienden a crecer normalmente (Davis, Subbarao, Raid, & Kurtz, 1997).

## CAPÍTULO III

# PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 3.1 Metodología

#### 3.1.1 Método.

##### 3.1.1.1 Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó en el Distrito de Pilcomayo, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín en las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo (UAP-Hyo). Su ubicación geográfica es: 12°03'20.1" de latitud Sur y 75°15'33.9" de longitud oeste, a una altitud de 3 212 m.s.n.m.

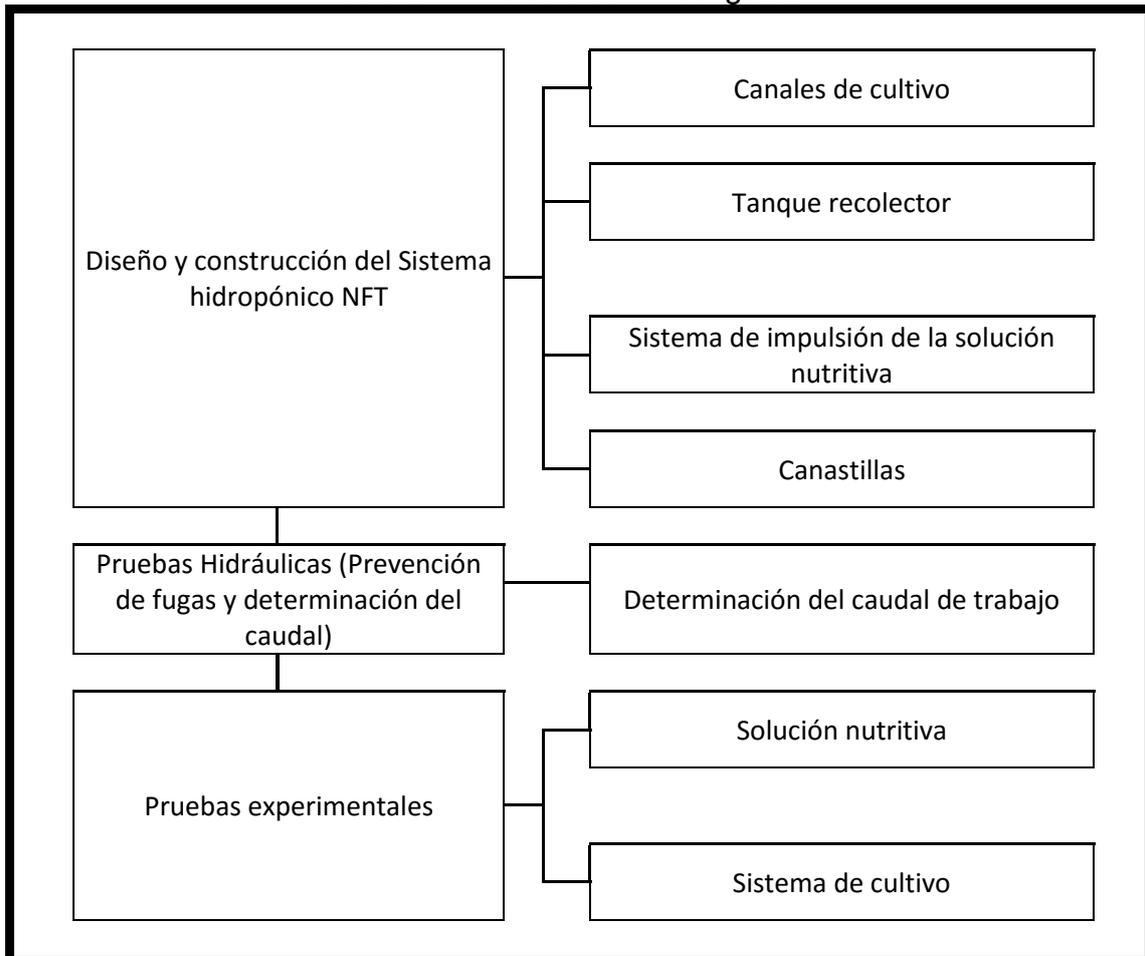
Figura 3.1. Ubicación del sitio experimental



**Fuente:** Google Earth - versión 7.1.5.1557

Para la elaboración del estudio primero se desarrolló el diseño y construcción del sistema, posteriormente se desarrolló pruebas hidráulicas para determinar que no exista fuga y que funcione adecuadamente el sistema y por último se llevó a cabo las pruebas experimentales.

Tabla 3.1. Método de Investigación



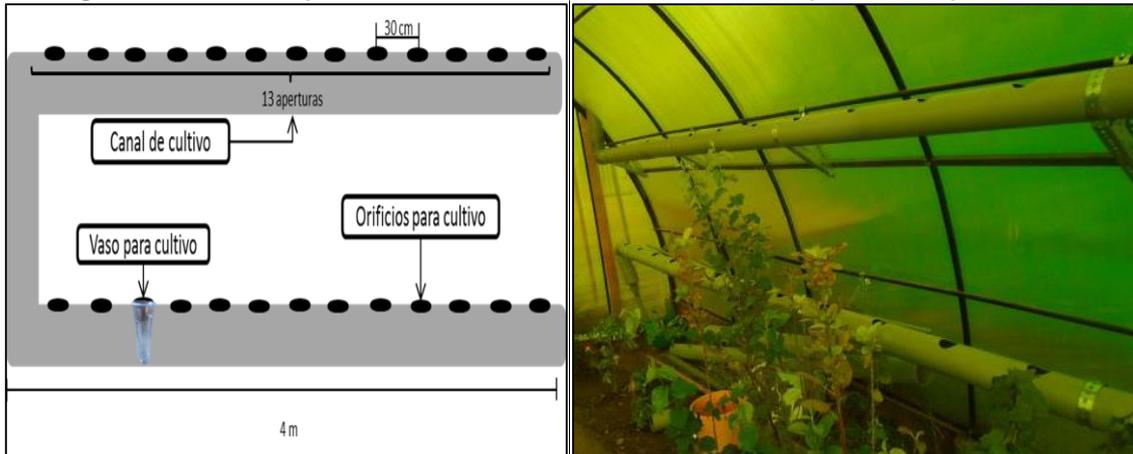
**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.1.2 Diseño y Construcción del sistema NFT

#### a) Canales de cultivo

Se construyó un sistema hidropónico NFT de 2 niveles el cual estuvo constituido por tubos de PVC de 4" de diámetro y 4 m de largo con una ligera pendiente para su riego y drenaje de la solución nutritiva. Estos tubos fueron perforados cada 30 cm llegando a perforarse 13 aperturas en cada nivel, 26 aperturas en total.

Figura 3.2. Descripción de los dos canales utilizados para el experimento



La forma y el tamaño de estas canaletas permitieron el correcto flujo de la solución nutritiva y el crecimiento adecuado de las raíces de las plantas. Las canaletas fueron sujetadas con el apoyo de alambres y fierros a una de las paredes del vivero, con una inclinación de del 2 %.

Figura 3.3. Soporte de los canales de cultivo



#### b) Tanque recolector

El sistema de riego que alimentó a las plantas en los tratamientos consistió en 2 tanques de 250 litros de capacidad. Uno de ellos fue ubicado bajo el nivel del suelo el cual tuvo la función de recolectar la solución nutritiva proveniente de los canales de cultivo. El segundo tanque fue el encargado de distribuir la solución nutritiva hacia los canales de cultivo, para que ello sea posea posible fue necesario la construcción de una estructura metálica el cual sirvió de soporte

para este segundo tanque. Ambos tanque fueron conectados con un tubo de PVC de 1".

Figura 3.4. Ubicación de los tanques receptores de la solución nutritiva



### c) Sistema de impulsión de la solución nutritiva

La solución nutritiva de cada tratamiento fue impulsada del tanque 1 al tanque 2 mediante una bomba centrífuga de 0.5 Hp no sumergible con un flujo de agua de 80 L/min.

Figura 3.5. Sistema de impulsión de la solución nutritiva



### d) Canastillas

Las canastillas usadas en este sistema se realizaron mediante la utilización de los vasos de plástico o desechables, a los que se les realizaron ranuras por el cual las raíces de las plántulas tuvieron contacto con la solución nutritiva.

Figura 3.6. Canastillas usadas para la inserción de las plántulas de la lechuga



### 3.1.1.3 Pruebas hidráulicas

Posteriormente a la culminación del instalado del sistema hidropónico se tuvo que desarrollar pruebas hidráulicas, con el fin de determinar que no existan fugas de agua y que todo esté debidamente sellado. Para lo cual se llenó de agua el tanque que se encuentra en la parte superior del sistema y se dejó correr el agua por todo el sistema.

#### a) Determinación del caudal

Para regular el caudal del flujo de la solución nutritiva se utilizaron llaves de paso de 1", los cuales se fueron regulando gradualmente hasta alcanzar el caudal deseado.

Figura 3.7. Regulación del caudal de la solución nutritiva



El método utilizado para determinar el caudal fue el volumétrico en el cual el caudal es igual a la velocidad del fluido sobre el tiempo.

$$Q = v/t \quad (1)$$

**Dónde:**

**Q** es el caudal ( $m^3/s$ )

**v** es el volumen ( $m^3$ )

**T** es el tiempo (s)

Este método es la forma más sencilla de calcular los caudales pequeños ya que es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro.

### 3.1.1.4 Pruebas experimentales

#### a) Solución nutritiva

La solución nutritiva utilizada en los tratamientos fue la adquirida de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), el cual consta de dos soluciones, la solución nutritiva A son los macronutrientes y la solución nutritiva B son los micronutrientes.

Figura 3.8. Solución nutritiva utilizada.



Para la preparación de la solución nutritiva se obtuvieron las soluciones A (macronutrientes) y B (micronutrientes). Para preparar un litro de solución nutritiva, se mezclan 5 mL de la solución concentrada A y 2 mL de la solución concentrada B en un litro de agua agitando previamente las soluciones concentradas.

Figura 3.9. Mezclado de la solución nutritiva con el agua



Para que el mezclado del agua con la solución nutritiva sea de manera uniforme se agregó la solución nutritiva en el tanque 1 posteriormente con el apoyo de la bomba instalada se impulsó hacia el tanque 2 y se dejó correr el agua por todo el sistema de tubería hasta que volvió al tanque 1 y nuevamente se volvió a bombear al tanque 2.

Figura 3.10. Mezclado de la solución nutritiva



### b) Sistema de Cultivo

Las plántulas fueron compradas de un vivero cercano con un tamaño de 7 cm aproximadamente.

Posteriormente estas fueron plantadas a los vasos que se encontraban previamente con sus ranuras respectivas e insertadas en las aperturas de la tubería.

Figura 3.11. Sistema de cultivo de las plántulas de lechuga



### c) Crecimiento de las plantaciones

Después de un mes del trasplante de las plántulas de lechuga se procedió a su cosecha a tomar los datos pertinentes.

Las fechas de cada uno de las plantaciones y cosechas fueron las siguientes:

Tabla 3.2 Tiempo de cultivo de las plantaciones

	<b>Fecha de plantación</b>	<b>Fecha de cosecha</b>
1° Cultivo	22/06/2016	21/07/2016
2° Cultivo	21/07/2016	19/08/2016
3° Cultivo	19/08/2016	18/09/2016
4° Cultivo	20/09/2016	21/10/2016

Figura 3.12. Plántulas de la primera corrida experimental.



Figura 3.13. Plántulas de la segunda corrida experimental.



Figura 3.14. Plántulas de la tercera corrida experimental



Figura 3.15. Plántulas de la cuarta corrida experimental



#### d) Análisis de laboratorio

Después de la cosecha de las lechugas se procedió a realizar la toma de los datos en el laboratorio de la Universidad.

Figura 3.16. Análisis de laboratorio.



### 3.1.2 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación utilizado fue la investigación cuasi experimental el cual es muy parecido a los verdaderos experimentales; solamente que no hay asignación al azar o emparejamiento, pero por lo demás son iguales, las interpretaciones similares, las comparaciones son las mismas y los análisis estadísticos son iguales.

### 3.1.3 Nivel de la Investigación

#### Investigación descriptiva Correlacional:

Tiene como finalidad establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. (Oseda, Cori, Cerrón, & Vélez, 2014).

### 3.2 Diseño de la Investigación.

#### Diseño Factorial simple de 2 x 2

En ocasiones, el investigador pretende analizar experimentalmente el efecto que sobre las variables dependientes tiene la manipulación de más de una variable independiente; así se utiliza los diseños factoriales, es decir cuando se tiene más de una variable independiente.

El esquema del diseño factorial utilizada fue el siguiente:

#### Lechuga sin cabeza de hojas sueltas

		Conductividad Eléctrica mS/cm (CE)	
		CE <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub>
Caudal L/min (Q)	Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> Q <sub>1</sub>
	Q <sub>2</sub>	CE <sub>1</sub> Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> Q <sub>2</sub>

#### Lechuga mantequilla o Butter Head

		Conductividad Eléctrica mS/cm (CE)	
		CE <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub>
Caudal L/min (Q)	Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> Q <sub>1</sub>
	Q <sub>2</sub>	CE <sub>1</sub> Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> Q <sub>2</sub>

#### Dónde:

CE<sub>1</sub>: Conductividad Eléctrica (2249,15 mS/cm)

CE<sub>2</sub>: Conductividad Eléctrica (1341,62 mS/cm)

Q<sub>1</sub>: Caudal (3,36 L/min)

Q<sub>2</sub>: Caudal (2,27 L/min)

### **3.3 Hipótesis de la Investigación**

#### **3.3.1 Hipótesis General**

- La evaluación del crecimiento de las dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) a diferentes caudales y conductividades eléctricas son diferentemente significativas en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.

#### **3.3.2 Hipótesis Específicas**

- La variación del caudal influye significativamente sobre el crecimiento de las plántulas de la *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en un sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.
- La conductividad eléctrica influye significativamente en el crecimiento de las plántulas de *Lactuca Sativa L.* (lechuga) en el sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.
- Las variedades de la Lechuga mantequilla o Butter Head y Lechuga sin cabeza de hojas sueltas difieren significativamente en cuanto a su crecimiento dentro del sistema hidropónico NFT implementado en el vivero de la Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo en el año 2016.

### **3.4 Variables**

#### **3.4.1 Variable Independiente**

- Conductividad eléctrica (mS/cm)

##### **Indicadores**

- Contenido de iones disueltos en la solución

- Caudal

##### **Indicadores**

- Volumen (L)
- Tiempo (min)

#### **3.4.2 Variable Dependiente**

- Crecimiento de la lechuga

### **Indicadores**

- Número de hojas
- Altura de la planta (cm)
- Longitud de la hoja más larga (cm)
- Peso de la parte aérea (g)
- Peso de la raíz (g)

## **3.5 Cobertura del Estudio.**

### **3.5.1 Universo.**

El universo está compuesto por las plantas pertenecientes al vivero de la Universidad Alas Peruanas

### **3.5.2 Población.**

La población está compuesta por un cantidad de 26 plantas de *Lactuca sativa L.* (Lechuga)

### **3.5.3 Muestra.**

La muestra está compuesta por una cantidad de 4 plántulas de *Lactuca Sativa L.* (Lechuga) de vasa variedad.

### **3.5.4 Muestreo.**

El procedimiento empleado es el siguiente: se asigna un número al azar a cada individuo de la población y a través de un medio mecánico se eligen tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de la muestra requerido.

## **3.6 Técnicas e Instrumentos**

### **3.6.1 Técnicas de la Investigación.**

- Revistas científicas
- Artículos científicos
- Bases de datos
- Observación de Campo

### **3.6.2 Instrumentos de la Investigación.**

- Fichas de resumen
- Cuaderno de campo
- Fotografías
- Listas de chequeo

### **3.7 Procesamiento estadístico de la información.**

#### **3.7.1 Estadísticos.**

Las variables evaluadas se sometieron a un Análisis de Varianza, y para establecer la diferencia entre promedios entre las variaciones estadísticas se utilizó la prueba de Tukey.

La prueba de Tukey es la prueba más aplicada y preferida por los estadísticos, y prueba de normalidad. (Montgomery, 2003). Esta prueba permite hacer todas las posibles comparaciones de tratamientos de dos en dos, y por eso se considera una de las más completas (Wu & Hamada, 2000).

#### **3.7.2 Representación.**

La representación de los resultados se desarrolla mediante:

- Cuadros
- Gráficos lineales
- Tablas

#### **3.7.3 Técnica de comprobación de la hipótesis.**

Prueba de análisis de varianza de Tukey

## **CAPÍTULO IV**

# **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Resultados.**

Los datos fueron analizados al término de los treinta días de cosecha de acuerdo a cada indicador, es decir, número de hojas, altura de la planta, contorno de la cabeza, longitud de la hoja más grande, peso de la parte aérea y peso de la raíz.

Durante el tiempo de cultivo también se tomaron datos de Conductividad Eléctrica, pH y Temperatura.

Para el análisis de los resultados considerar que:

CE<sub>1</sub>: Conductividad Eléctrica (2249,15 mS/cm)

CE<sub>2</sub>: Conductividad Eléctrica (1341,62 mS/cm)

Q<sub>1</sub>: Caudal (3,36 L/min)

Q<sub>2</sub>: Caudal (2,27 L/min)

#### **4.1.1 Número de Hojas**

Una vez finalizado los treinta días de cultivo se procedió a analizar el número de hojas presentes en cada una de las plantas de la lechuga para ambas variedades (lechuga sin cabeza de hojas sueltas y lechuga mantequilla o Butter Head).

#### 4.1.1.1 Número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

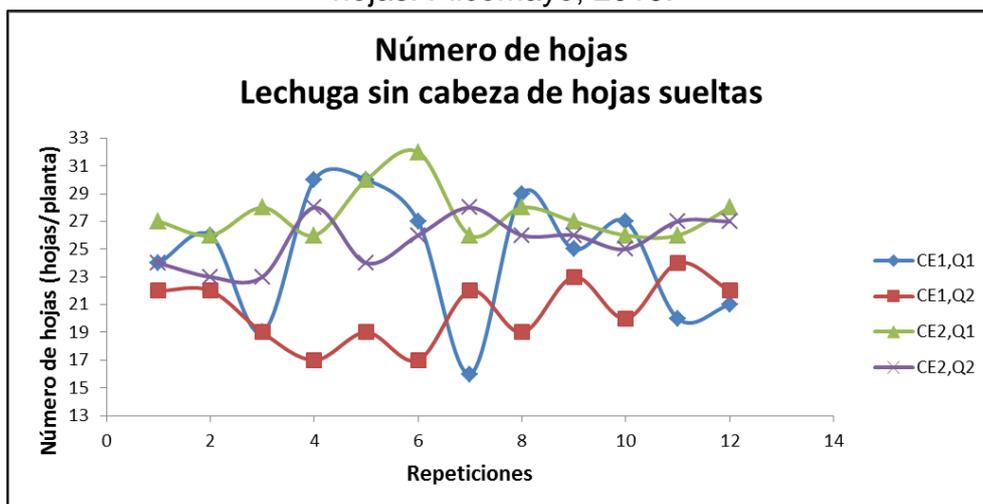
En la tabla 4.1, se presenta los datos obtenidos para el indicador de respuesta número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas al momento de su respectiva cosecha.

Tabla 4.1 Resultados del número de hojas - Lechuga sin cabeza de hojas sueltas

Número de Hojas				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	24	22	27	24
2	26	22	26	23
3	19	19	28	23
4	30	17	26	28
5	30	19	30	24
6	27	17	32	26
7	16	22	26	28
8	29	19	28	26
9	25	23	27	26
10	27	20	26	25
11	20	24	26	27
12	21	22	28	27
<b>Prom</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>25</b>

Con respecto al número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas los resultados muestran diferencias de la interacción de la conductividad eléctrica y el caudal de trabajo. El mayor promedio de número de hojas se presentó en la tercera prueba experimental CE<sub>2</sub>, Q<sub>1</sub> con un promedio de 27 hojas por planta. Y el menor promedio en cuanto al número de hojas se dio en la segunda prueba experimental CE<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> con un promedio registrado de 20 hojas por planta.

Figura 4.1 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el número de hojas. Pilcomayo, 2016.



#### 4.1.1.2 Número de hojas de la Lechuga mantequilla o Butter Head

En la tabla 4.2, se presenta los datos obtenidos para el indicador de respuesta número de hojas de la lechuga mantequilla o Butter Head al momento de su respectiva cosecha.

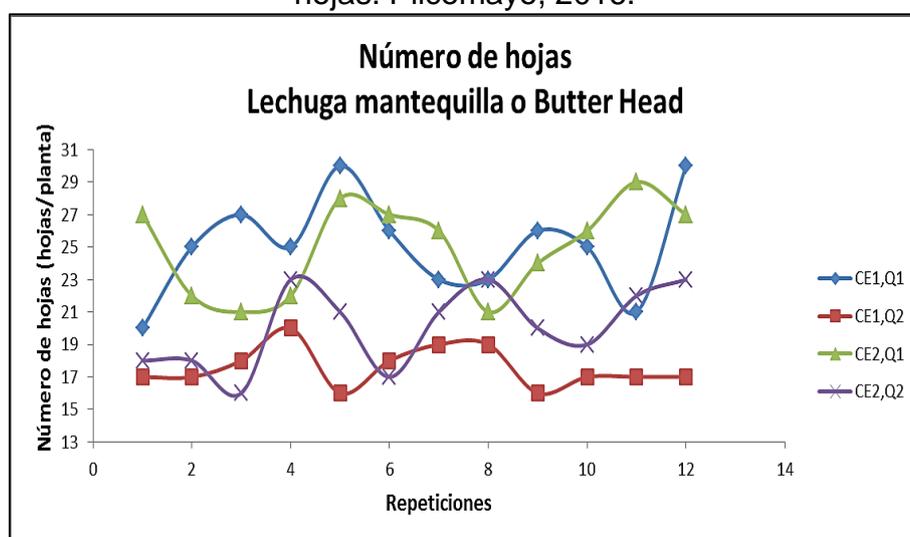
Tabla 4.2 Resultados del número de hojas - Lechuga mantequilla o Butter Head

Número de Hojas				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	20	17	27	18
2	25	17	22	18
3	27	18	21	16
4	25	20	22	23
5	30	16	28	21
6	26	18	27	17
7	23	19	26	21
8	23	19	21	23
9	26	16	24	20
10	25	17	26	19
11	21	17	29	22
12	30	17	27	23
<b>Prom</b>	<b>25</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>20</b>

Posterior a la cosecha y análisis del indicador número de hojas de la lechuga mantequilla o Butter Head se pudo observar que existe

diferencias de la interacción de la conductividad eléctrica y el caudal trabajado mostrando mejores resultado en la primera y tercera pruebas experimentales con características de CE<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub> y CE<sub>2</sub>, Q<sub>1</sub>, respectivamente, con un promedio de hojas de 25 en ambos casos. El menor promedio en cuanto al número de hojas se dio en la segunda prueba experimental en el cual se trabajó con CE<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> con un promedio registrado de 17 hojas por planta.

Figura 4.2. Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el número de hojas. Pilcomayo, 2016.



#### 4.1.2 Altura de la planta

Después de haber finalizado el proceso de cosecha de las lechugas se procedió a medir la altura de las plantas desde la base hasta el extremo superior de la cabeza con una regla métrica.

##### 4.1.2.1 Altura de la planta de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

En la tabla 4.3, se presenta los datos obtenidos para el indicador de respuesta altura de planta de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas al momento de su respectiva cosecha.

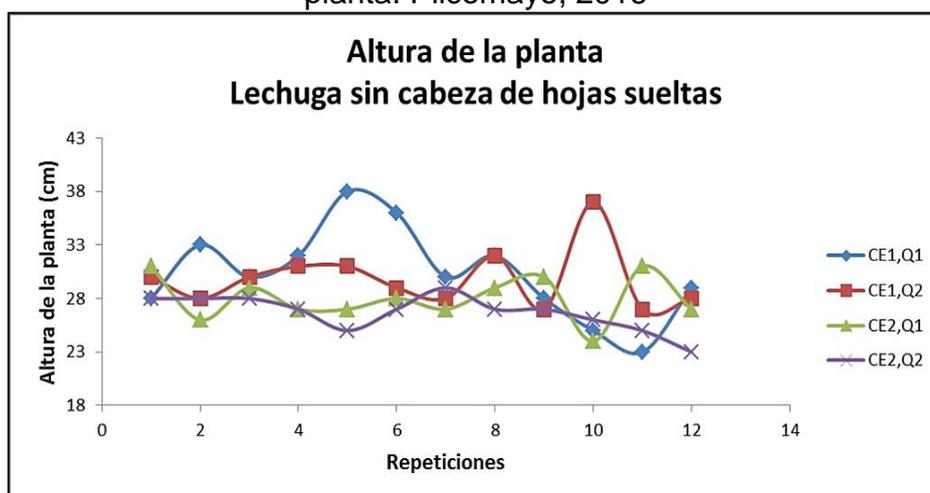
Tabla 4.3 Resultados de la altura de la planta - lechuga sin cabeza de hojas sueltas

--

Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	28	30	31	28
2	33	28	26	28
3	30	30	29	28
4	32	31	27	27
5	38	31	27	25
6	36	29	28	27
7	30	28	27	29
8	32	32	29	27
9	28	27	30	27
10	25	37	24	26
11	23	27	31	25
12	29	28	27	23
<b>Prom</b>	<b>30,3</b>	<b>29,8</b>	<b>28,0</b>	<b>26,7</b>

De acuerdo a los datos expuestos en la tabla 4.3 se determinó que existe un mejor crecimiento en cuanto al indicador altura de planta para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas en la primera prueba experimental CE<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub> en el cual se obtuvo una media de crecimiento de su planta de 30,3 cm. Y el menor crecimiento de la altura de la planta se dio en la cuarta prueba experimental CE<sub>2</sub>, Q<sub>2</sub> en el cual se obtuvo una media de crecimiento de 26.7 cm.

Figura 4.3 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en la altura de la planta. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.2.2 Altura de la planta de la Lechuga mantequilla o Butter Head

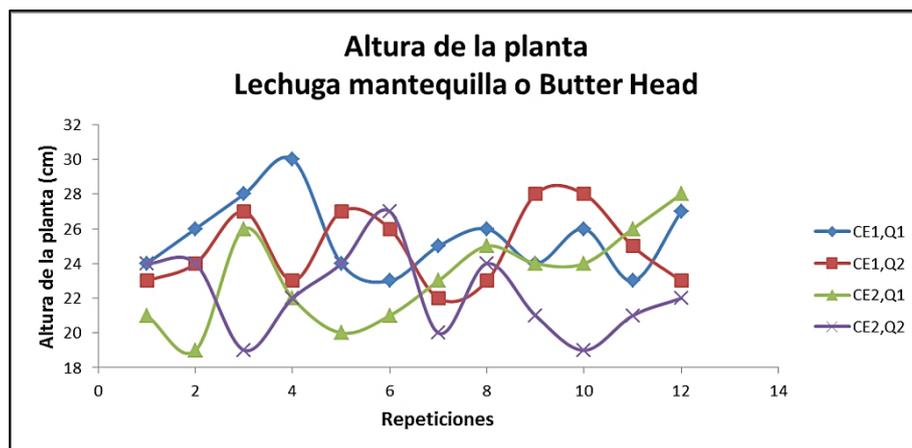
En la tabla 4.4, se presenta los datos obtenidos para el indicador de respuesta altura de planta de la lechuga mantequilla o Butter Head al momento de su cosecha.

Tabla 4.4 Resultados de la altura de la planta - lechuga mantequilla o Butter Head

Altura de la Planta (cm)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	24	23	21	24
2	26	24	19	24
3	28	27	26	19
4	30	23	22	22
5	24	27	20	24
6	23	26	21	27
7	25	22	23	20
8	26	23	25	24
9	24	28	24	21
10	26	28	24	19
11	23	25	26	21
12	27	23	28	22
<b>Prom</b>	<b>25,5</b>	<b>24,9</b>	<b>23,3</b>	<b>22,3</b>

En relación a la altura de la planta de la lechuga mantequilla o Butter Head, la interacción de CE<sub>1</sub> con el Q<sub>1</sub> mostró mejores resultados con una media de crecimiento de 25,5 cm de altura de la planta. Y el menor crecimiento de la altura de la planta está dado por la cuarta prueba experimental en el cual se trabajó con CE<sub>2</sub>, Q<sub>2</sub> en el cual se obtuvo una media de 22,3 cm de altura por planta.

Figura 4.4 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en la altura de la planta. Pilcomayo, 2016



### 4.1.3 Contorno de la Cabeza

En cuando se realizó la cosecha de las lechugas, se procedió a medir su perímetro (contorno de la cabeza) con una cinta métrica flexible.

#### 4.1.3.1 Contorno de la cabeza de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

En la tabla 4.5 se muestra los resultados de obtenidos del indicador contorno de la cabeza de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

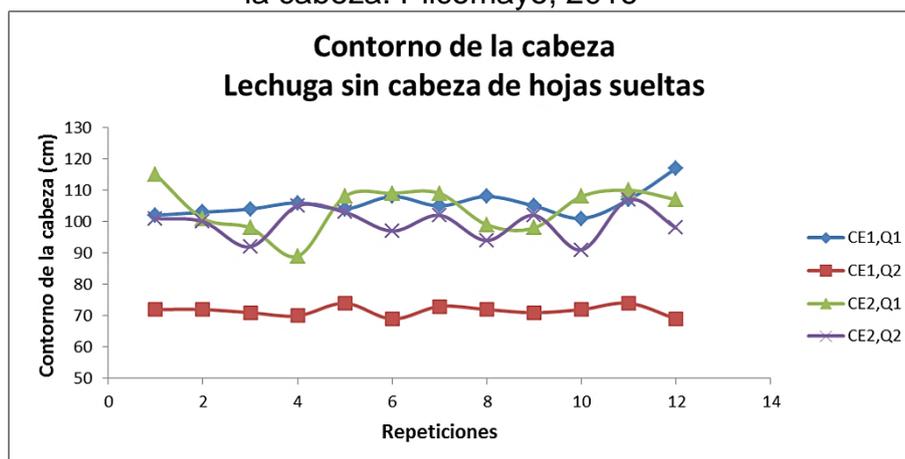
Tabla 4.5 Resultados del contorno de la cabeza - lechuga sin cabeza de hojas sueltas

Contorno de la Cabeza (cm)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	102	72	115	101
2	103	72	101	100
3	104	71	98	92
4	106	70	89	105
5	104	74	108	103
6	108	69	109	97
7	105	73	109	102
8	108	72	99	94
9	105	71	98	102
10	101	72	108	91
11	107	74	110	107
12	117	69	107	98
<b>Prom</b>	<b>105,8</b>	<b>71,6</b>	<b>104,3</b>	<b>99,3</b>

De acuerdo a la tabla 4.5 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador contorno de cabeza de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se dio en la primera prueba experimental con CE<sub>1</sub> y Q<sub>1</sub>

en el cual se obtuvo una media igual a 105,8 cm. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la segunda prueba experimental CE<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> el cual presento una media de 71,6 cm de contorno de cabeza.

Figura 4.5 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el contorno de la cabeza. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.3.2 Contorno de la cabeza de la Lechuga mantequilla o Butter Head

En la tabla 4.6 se muestra los resultados obtenidos del indicador contorno de la cabeza de la lechuga mantequilla o Butter Head.

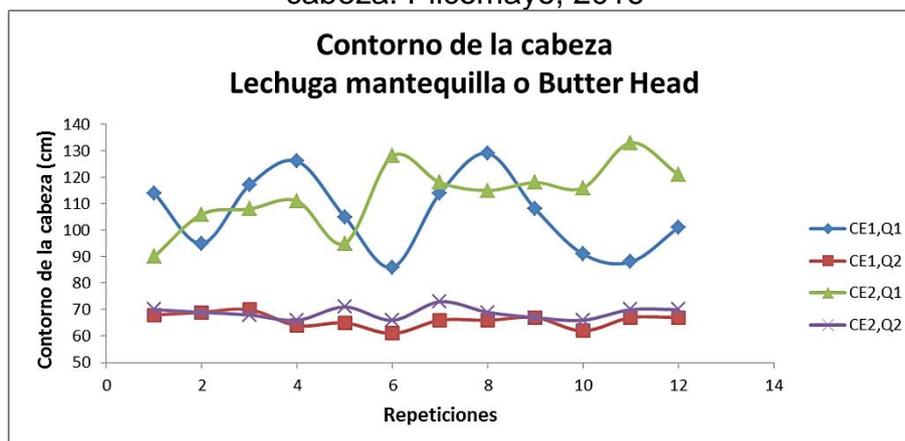
Tabla 4.6 Resultados del contorno de la cabeza - lechuga mantequilla o Butter Head

Contorno de la Cabeza (cm)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	114	68	90	70
2	95	69	106	69
3	117	70	108	68
4	126	64	111	66
5	105	65	95	71
6	86	61	128	66
7	114	66	118	73
8	129	66	115	69
9	108	67	118	67
10	91	62	116	66
11	88	67	133	70

12	101	67	121	70
<b>Prom</b>	<b>106,2</b>	<b>66,0</b>	<b>113,3</b>	<b>68,8</b>

De acuerdo a la tabla 4.6 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador contorno de cabeza de la lechuga mantequilla o Butter Head se dio en la tercera prueba experimental con CE<sub>2</sub> y Q<sub>1</sub> en el cual se obtuvo una media igual a 113,3 cm. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la segunda prueba experimental CE<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> el cual presento una media de 66,0 cm de contorno de cabeza.

Figura 4.6 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el contorno de la cabeza. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.4 Longitud de hoja más grande

Para determinar la longitud de la hoja más grande se registraron los datos individuales de las hojas más largas de cada una de las lechugas.

##### 4.1.4.1 Longitud de la hoja más grande de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

En la tabla 4.7 se observa los resultados obtenidos de la longitud de la hoja más grande de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas después de su respectiva cosecha de las lechugas.

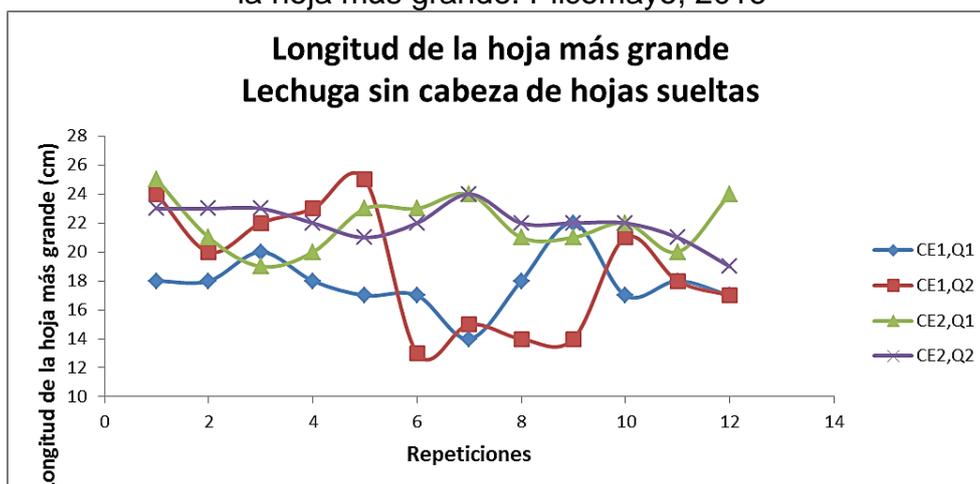
Tabla 4.7 Resultados de la longitud de la hoja más grande - lechuga sin cabeza de hojas sueltas

Longitud de la hoja más grande (cm)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>

1	18	24	25	23
2	18	20	21	23
3	20	22	19	23
4	18	23	20	22
5	17	25	23	21
6	17	13	23	22
7	14	15	24	24
8	18	14	21	22
9	22	14	21	22
10	17	21	22	22
11	18	18	20	21
12	17	17	24	19
<b>Prom</b>	<b>17,8</b>	<b>18,8</b>	<b>21,9</b>	<b>22,0</b>

De acuerdo a la tabla 4.7 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador longitud de la hoja más grande de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se dio en la cuarta prueba experimental con CE2 y Q2 en el cual se obtuvo una media igual a 22,0 cm. Y el menor crecimiento de la longitud de la hoja más grande se dio en la primera prueba experimental CE1 y Q1 el cual presentó una media de 17,8 cm de longitud de hoja más grande.

Figura 4.7 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en la longitud de la hoja más grande. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.4.2 Longitud de la hoja más grande de la Lechuga mantequilla o Butter Head

En la tabla 4.8 se observa los resultados obtenidos de la longitud de la hoja más grande de la lechuga mantequilla o Butter Head después de su respectiva cosecha de las lechugas.

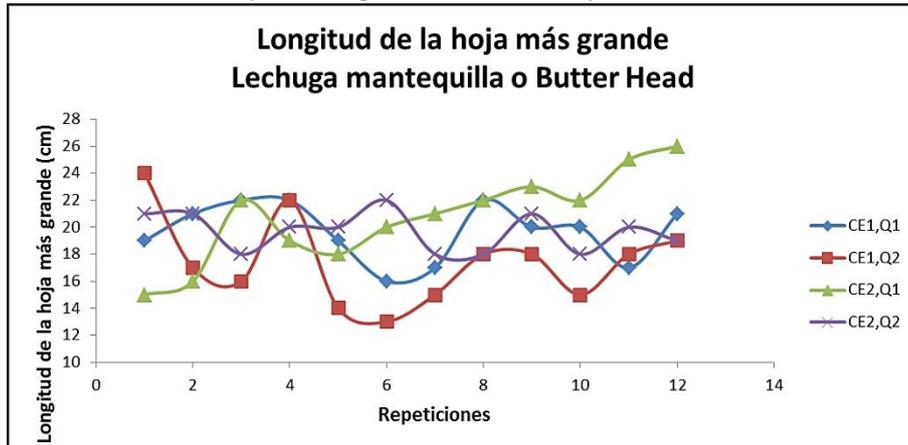
Tabla 4.8 Resultados de la longitud de la hoja más grande - lechuga mantequilla o Butter Head

<b>Longitud de la hoja más grande (cm)</b>				
<b>Rep</b>	<b>CE<sub>1</sub>,Q<sub>1</sub></b>	<b>CE<sub>1</sub>,Q<sub>2</sub></b>	<b>CE<sub>2</sub>,Q<sub>1</sub></b>	<b>CE<sub>2</sub>,Q<sub>2</sub></b>
1	19	24	15	21
2	21	17	16	21
3	22	16	22	18
4	22	22	19	20
5	19	14	18	20
6	16	13	20	22
7	17	15	21	18
8	22	18	22	18
9	20	18	23	21
10	20	15	22	18
11	17	18	25	20
12	21	19	26	19
<b>Prom</b>	<b>19,7</b>	<b>17,4</b>	<b>20,8</b>	<b>19,7</b>

De acuerdo a la tabla 4.8 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador longitud de la hoja más grande de la lechuga mantequilla o Butter Head se dio en la tercera prueba experimental con CE2 y Q1 en el cual se obtuvo una media igual a 20,8 cm. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la segunda prueba experimental CE1 y Q2 el cual presento una media de 17,4 cm de contorno de cabeza.

Figura 4.8 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en la longitud de la

hoja más grande. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.5 Peso de la parte aérea

Se registraron los datos individuales del peso de las cabezas de las lechugas

##### 4.1.5.1 Peso de la parte aérea de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

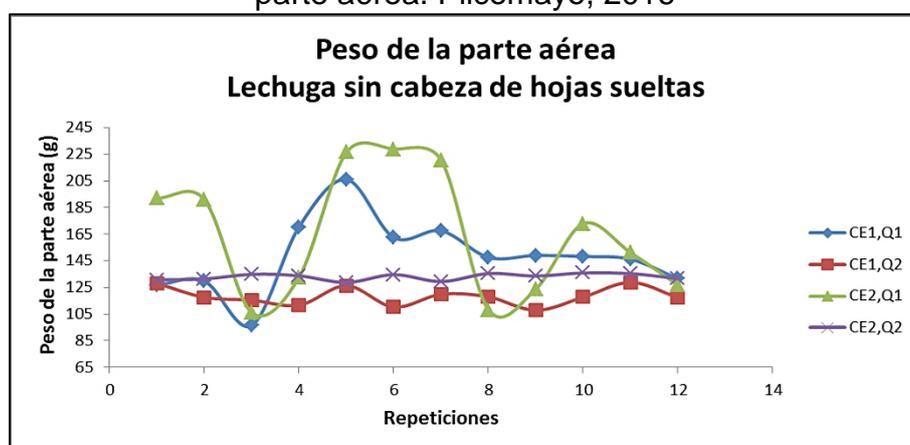
En la tabla 4.9 se observa los resultados obtenidos del peso de la parte aérea de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas después de su respectiva cosecha de las lechugas.

TABLA 4.9 Resultados del peso de la parte aérea - lechuga sin cabeza de hojas sueltas

Peso de la parte aérea (g)				
Rep	CE <sub>1,Q1</sub>	CE <sub>1,Q2</sub>	CE <sub>2,Q1</sub>	CE <sub>2,Q2</sub>
1	126,81	128,08	191,98	130,76
2	129,77	117,58	191,01	131,37
3	96,49	115,45	106,06	134,86
4	170,46	111,67	132,55	133,75
5	206,07	126,28	226,42	128,75
6	162,49	110,27	228,86	134,62
7	167,57	119,91	220,54	129,42
8	147,52	117,89	108,18	135,45
9	149,07	107,83	123,87	133,57
10	148,25	117,69	172,92	135,89
11	146,15	128,82	151,13	135,38
12	131,56	117,36	126,72	131,64
<b>Prom</b>	<b>148,52</b>	<b>118,24</b>	<b>165,02</b>	<b>132,96</b>

De acuerdo a la tabla 4.9 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador peso de la parte aérea de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se dio en la tercera prueba experimental con CE<sub>2</sub> y Q<sub>1</sub> en el cual se obtuvo una media igual a 165,02 g. Y el menor crecimiento del peso de la parte aérea se dio en la segunda prueba experimental CE<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> el cual presento una media de 118,24 g de peso de la parte aérea

Figura 4.9 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el peso de la parte aérea. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.5.2 Peso de la parte aérea de la Lechuga mantequilla o Butter Head

En la tabla 4.10 se muestra los resultados obtenidos del indicador respuesta peso de la parte aérea de la lechuga mantequilla o Butter Head.

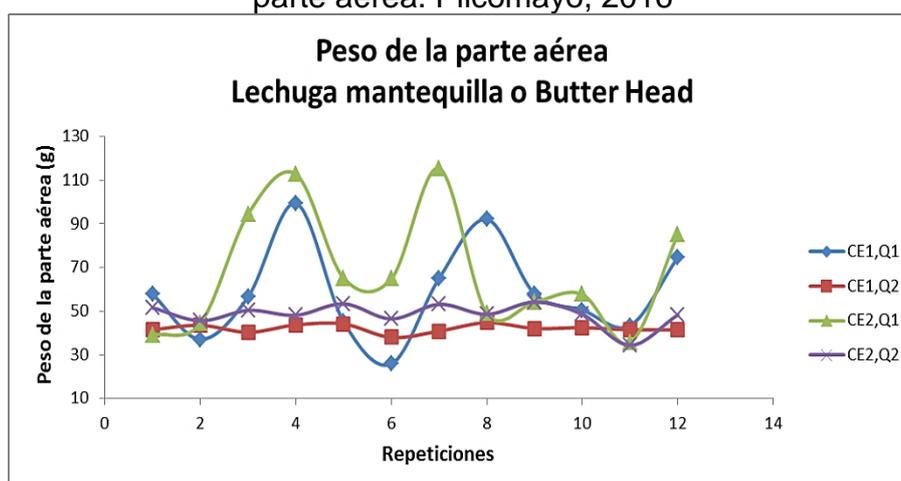
Tabla 4.10 Resultados del peso de la parte aérea - lechuga mantequilla o Butter Head

Peso de la parte aérea (g)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	77,74	41,56	89,01	51,56
2	67,13	43,55	84,47	45,62
3	86,59	40,34	94,54	50,38
4	99,35	43,72	112,73	48,15
5	65,11	44,15	92,29	53,38
6	75,88	37,98	84,86	46,47
7	65,06	40,88	115,41	53,16
8	92,07	44,76	88,96	48,58

9	57,89	42,09	89,15	54,17
10	70,51	42,47	77,69	48,63
11	73,41	41,51	75,63	34,37
12	74,66	41,51	85,12	48,34
<b>Prom</b>	<b>75,45</b>	<b>42,04</b>	<b>90,82</b>	<b>48,57</b>

De acuerdo a la tabla 4.10 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador peso de la parte aérea de la lechuga mantequilla o Butter Head se dio en la tercera prueba experimental con CE<sub>2</sub> y Q<sub>1</sub> en el cual se obtuvo una media igual a 90,82 g. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la segunda prueba experimental CE<sub>1</sub> y Q<sub>2</sub> el cual presento una media de 42,04 g de peso de la parte aérea.

Figura 4.10 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el peso de la parte aérea. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.6 Peso de la raíz

Se registraron los datos individuales del peso de las raíces de las lechugas.

##### 4.1.6.1 Peso de la raíz de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

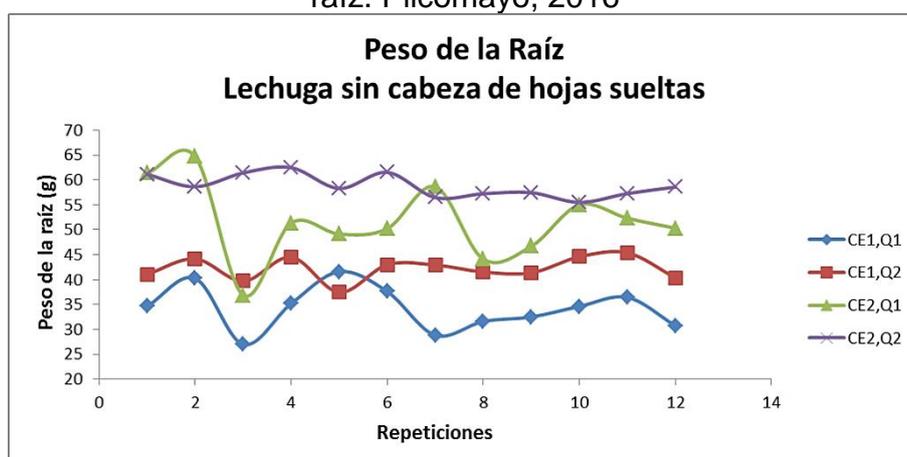
En la tabla 4.11 se muestra los datos obtenidos del indicador respuesta peso de la raíz para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

Tabla 4.11 Resultados del peso de la raíz - lechuga sin cabeza de hojas sueltas

Peso de la raíz (g)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	34,63	41,07	61,37	61,14
2	40,24	44,16	64,68	58,64
3	26,98	39,69	36,88	61,42
4	35,17	44,51	51,36	62,47
5	41,59	37,45	49,14	58,31
6	37,60	42,98	50,22	61,53
7	28,82	42,93	58,66	56,47
8	31,59	41,53	44,10	57,24
9	32,50	41,36	46,68	57,45
10	34,61	44,58	55,00	55,51
11	36,43	45,37	52,33	57,27
12	30,73	40,37	50,32	58,58
<b>Prom</b>	<b>34,24</b>	<b>42,17</b>	<b>51,73</b>	<b>58,84</b>

De acuerdo a la tabla 4.11 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador peso de la raíz de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se dio en la cuarta prueba experimental con CE<sub>2</sub> y Q<sub>2</sub> en el cual se obtuvo una media igual a 58,84 g. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la primera prueba experimental CE<sub>1</sub> y Q<sub>1</sub> el cual presento una media de 34,24 g de peso de la raíz.

Figura 4.11 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas, y su efecto en el peso de la raíz. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.6.2 Peso de la raíz de la Lechuga mantequilla o Butter Head

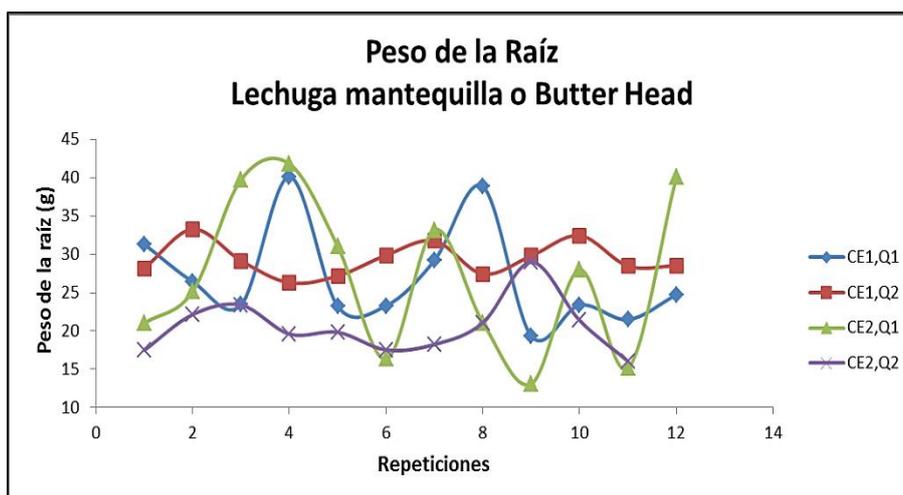
En la tabla 4.2 se muestra los resultados obtenidos del indicador de respuesta peso de la raíz de la lechuga mantequilla o Butter Head.

Tabla 4.12 Resultados del peso de la raíz - lechuga mantequilla o Butter Head

Peso de la raíz (g)				
Rep	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>
1	31,32	28,18	21,02	17,49
2	26,44	33,28	25,16	22,14
3	23,44	29,16	39,76	23,37
4	40,12	26,29	41,80	19,59
5	23,19	27,18	31,02	19,82
6	23,29	29,89	16,33	17,52
7	29,23	31,75	33,19	18,23
8	38,84	27,43	21,08	21,08
9	19,34	29,80	13,09	28,99
10	23,37	32,46	27,97	21,37
11	21,48	28,46	15,15	16,03
12	24,72	28,52	40,07	21,15
<b>Prom</b>	<b>27,07</b>	<b>29,37</b>	<b>27,14</b>	<b>20,57</b>

De acuerdo a la tabla 4.12 se determina que el mejor crecimiento en cuanto al indicador peso de la raíz de la lechuga mantequilla o Butter Head se dio en la segunda prueba experimental con CE1 y Q2 en el cual se obtuvo una media igual a 29,37 g. Y el menor crecimiento del contorno se dio en la cuarta prueba experimental CE2 y Q2 el cual presentó una media de 20,57 g de peso de la raíz.

Figura 4.12 Interacción entre el número de repeticiones y las características del cultivo de la lechuga mantequilla o Butter Head, y su efecto en el peso de la raíz. Pilcomayo, 2016



#### 4.1.7 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica

En la tabla 4.13 se muestra los datos acerca del comportamiento que mostró la conductividad eléctrica en el transcurso del cultivo de las lechugas, para ello se tomaron los datos cada cinco días.

Tabla 4.13 Comportamiento de la Conductividad eléctrica durante el tiempo de cultivo

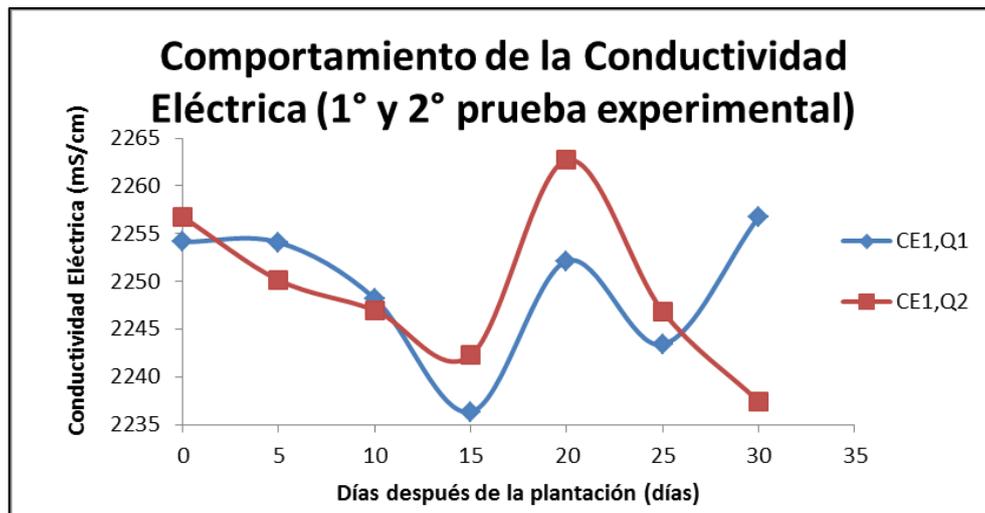
Comportamiento de la CE mS/cm				
Días después de la plantación	CE <sub>1,Q1</sub>	CE <sub>1,Q2</sub>	CE <sub>2,Q1</sub>	CE <sub>2,Q2</sub>
0	2254,14	2256,76	1334,15	1341,17
5	2254,08	2250,13	1344,21	1346,98
10	2248,20	2246,97	1329,81	1348,15
15	2236,32	2242,24	1347,57	1342,23
20	2252,14	2262,72	1331,84	1347,60
25	2243,39	2246,86	1345,98	1345,65
30	2256,76	2237,42	1345,46	1331,92

Para la variable de control denominado conductividad eléctrica se determina que en la primera y segunda prueba experimental tuvo datos más altos a diferencia de la tercera y cuarta prueba experimental, la razón de esto fue por el aumento de agua que se realizó terminado la segunda cosecha ya que la cantidad de agua había disminuido por el consumo de las plantas.

Para la primera prueba experimental el comportamiento de la conductividad eléctrica fluctuó entre 2254,14 mS/cm y 2256,76 mS/cm.

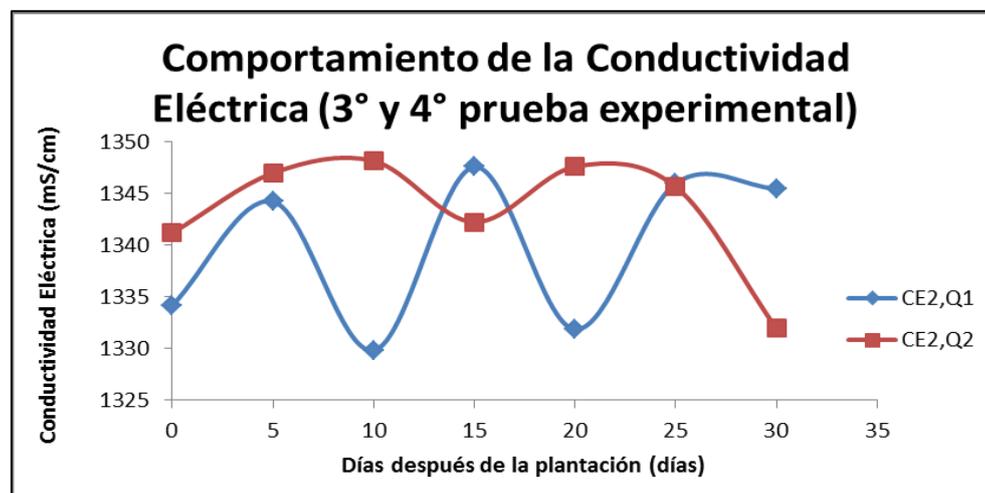
Para la segunda prueba experimental los datos fluctuaron en un rango de 2229,27 mS/cm y 2237,42 mS/cm.

Figura 4.13 Comportamiento de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva a través del tiempo en las dos primeras pruebas experimentales



Los resultados de conductividad eléctrica fluctuaron entre 1334,15-1345,46 y 1341,17-1331,92 para la tercera y cuarta prueba experimental respectivamente.

Figura 4.14 Comportamiento de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva a través del tiempo en las dos últimas pruebas experimentales



#### 4.1.8 Comportamiento del pH

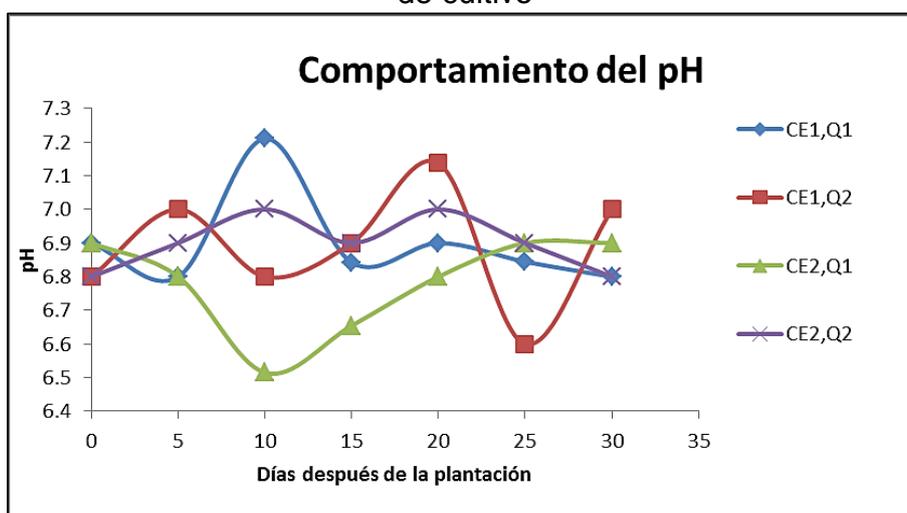
En la tabla 4.14 se muestra los datos obtenidos acerca del comportamiento de la variable de control pH.

Tabla 4.14 Comportamiento del pH durante el cultivo

Comportamiento del pH				
Días después de la plantación	CE <sub>1,Q1</sub>	CE <sub>1,Q2</sub>	CE <sub>2,Q1</sub>	CE <sub>2,Q2</sub>
0	6,9	6,8	6,9	6,8
5	6,8	7,0	6,8	6,9
10	7,2	6,8	6,5	7,0
15	6,8	6,9	6,7	6,9
20	6,9	7,1	6,8	7,0
25	6,8	6,6	6,9	6,9
30	6,8	7,0	6,9	6,8

En cuanto a los datos obtenidos del comportamiento del pH se registró el menor dato en la tercera prueba experimental en el cual se registró para el día 10 un dato de un pH igual a 6,5. Y el mayor dato registrado se dio en la primera prueba experimental en el cual se obtuvo un dato de 7,2. Los otros datos de las pruebas experimentales oscilaron entre estos valores.

Figura 4.15 Comportamiento del pH de la solución nutritiva a través del tiempo de cultivo



#### 4.1.9 Comportamiento de la Temperatura

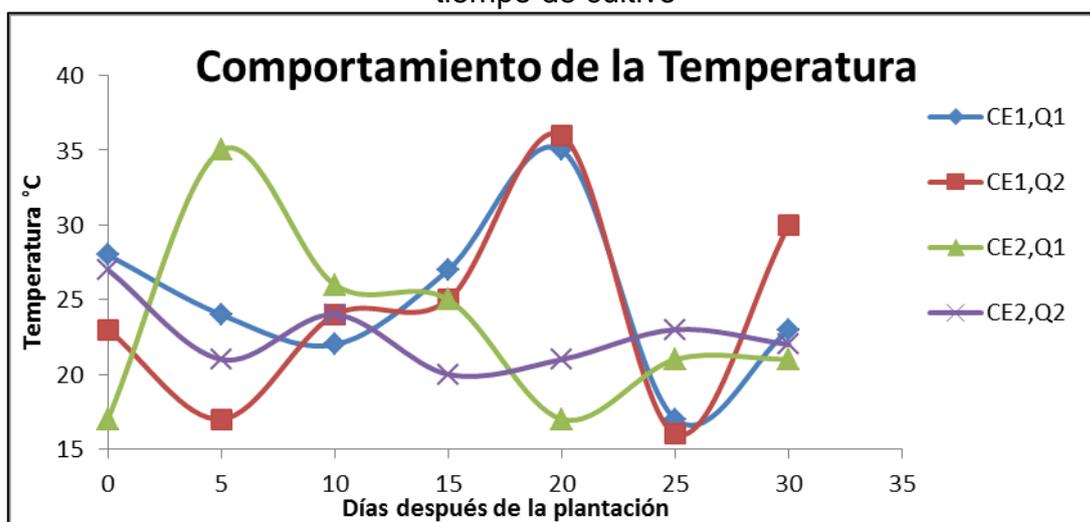
En la tabla 4.15 se reportan los datos obtenidos en cuanto a variable de control temperatura durante el tiempo de cultivo de las lechugas.

Tabla 4.15 Comportamiento de la Temperatura dentro del vivero durante el tiempo de cultivo

Comportamiento de la Temperatura				
Días después de la plantación	CE <sub>1,Q1</sub>	CE <sub>1,Q2</sub>	CE <sub>2,Q1</sub>	CE <sub>2,Q2</sub>
0	28	23	17	27
5	24	17	35	21
10	22	24	26	24
15	27	25	25	20
20	35	36	17	21
25	17	16	21	23
30	23	30	21	22

La temperatura que se registró en las cuatro pruebas experimentales fluctuaron entre un valor mínimo de 16 °C en la segunda prueba experimental y un valor máximo de 36 °C también en la segunda prueba. Todos los otros datos de temperatura oscilaron entre estos dos valores.

Figura 4.16 Comportamiento de la temperatura dentro del vivero a través del tiempo de cultivo



#### 4.1.10 Datos del análisis de nutrientes

Se escogió 1 lechuga al azar de la segunda y tercera cosecha para poder mandar a analizar sus características nutricionales. Ambas lechugas fueron analizadas en la Universidad Nacional Agraria La Molina cuyos resultados son los siguientes:

COMPONENTE	1° análisis (Segunda Cosecha)	2° análisis (Tercera Cosecha)
N (%)	0,98	1,25
P (%)	0,39	0,23
K <sub>2</sub> (%)	3,32	3,64
Ca (%)	0,92	0,81
Mg (%)	0,27	0,42
Fe (ppm)	78,03	158,21
Cu (ppm)	1,73	2,34
Zn (ppm)	35,54	23,8
Mn (ppm)	47,84	61,4
Boro (ppm)	0,16	0,14

#### 4.2 Discusión de resultado

Los caudales a los cuales fueron expuestas las pruebas experimentales fueron de  $Q_1=3,36$  L/min y  $Q_2=2,27$  L/min, por un periodo de un mes, tiempo en el cual se fue evaluando y controlando semanalmente para que no exista alguna variación, estos caudales ayudaron a lograr y mantener la lámina de solución nutritiva recirculante en todo el sistema hidropónico.

Para el  $Q_1$  con respecto al número de hojas se obtuvieron para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas el promedio de 24 hojas a diferencia del  $Q_2$  que se obtuvo 20 hojas por lo tanto se tiene una diferencia de 4 hojas entre ambos caudales, de igual manera respecto a la lechuga mantequilla o Butter Head para el  $Q_1$  se obtuvo 25 hojas y para el  $Q_2$  se obtuvo 17 teniendo una diferencia de 8 hojas.

Figura 4.17 Diferencia del número de hojas para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas



Según (Arcos, Benavides y Rodríguez, 2011), en su trabajo de investigación realizada en un sistema hidropónico NFT con dos sustratos distintos, obtuvieron datos de 24, 25 y 20,61 hojas/planta para la variedad de lechuga Coolguard. Los datos obtenidos en la investigación de Arcos, Benavides, y Rodríguez muestra que no existe diferencia significativa con los resultados obtenidos por nuestra investigación para la variedad de lechuga sin cabeza de hojas sueltas.

(Marschner, 2002) Señala, que las hojas al ser el principal órgano sintetizador de las plantas deben de tener una buena aireación que permita suministrar la cantidad adecuada de nutrientes. En este sentido el caudal de 3,36 L/min al mostrar un flujo más turbulento que el caudal de 2,27 L/min hace que las raíces puedan tener una mejor disponibilidad de oxígeno, lo cual favorece al crecimiento de las raíces, dando de esta manera lugar a un mejor crecimiento de la parte aérea. De esta manera el proceso respiratorio de las raíces de la planta por el caudal de 3,36 L/min lo cual generó una mejor formación de las hojas.

Con respecto al indicador de respuesta altura de la planta se obtuvo en la lechuga sin cabeza de hojas sueltas para  $Q_1$  un promedio de crecimiento de 28 cm a diferencia de  $Q_2$  en el cual se obtuvo un promedio de 26,7 cm con una diferencia de 1,3 cm, de igual manera con respecto de la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo una media de 23,3 cm para  $Q_1$  y para  $Q_2$  un promedio de 22,3 cm teniendo de esta manera una diferencia de 1,0 cm.

Figura 4.18 Diferencia de la altura de la planta para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas



(Arcos, Benavides y Rodríguez, 2011) obtuvieron sus mejores valores de 18,97 cm y 17,94 cm de altura de la planta para la variedad de Lechuga Coolguard en su trabajo de investigación realizado en un sistema NFT con sustratos. Los datos obtenidos en nuestro trabajo de investigación muestran resultados mucho más favorables en función al indicador de respuesta altura de la planta.

Arcos, Benavides y Rodríguez (2011) manifiestan que el crecimiento de la altura de la planta es dependiente de la cantidad de agua, nutrientes y oxígeno que se le pueda aportar. Es este sentido, el crecimiento de la altura de la planta es un indicador de que el medio proporcione las cantidades más adecuadas de nutrimentos y que la disponibilidad de los mismos también fue la adecuada, lo cual permitió el mejor crecimiento de las plantas y es por ello que se determina de que el caudal de 3,36 L/min ofreció las mejores condiciones para el desarrollo de este indicador.

En función al indicador de respuesta contorno de la cabeza para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo un promedio para  $Q_1$  de 105,8 cm y para  $Q_2$  se obtuvo 71,6 cm teniendo de esta manera una diferencia de 34,2 cm de contorno de la lechuga entre ambos caudales, y para la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo 113,3 cm y 68,8 cm para  $Q_1$  y  $Q_2$  respectivamente existiendo una diferencia de 44,5 cm entre ambos caudales de trabajo.

Figura 4.19 Diferencia del contorno de la planta para la lechuga mantequilla o Butter Head



Según Carneiro, el diámetro ( $\text{Diámetro} = \text{Contorno de la Cabeza} / \pi$ ) constituye uno de los más importantes atributos morfológicos para estimar el crecimiento de las plantas de lechuga después del establecimiento (Carneiro, 1995).

Marcela G, Camilo R, Benavides B y Chaves J, 2014 en su trabajo de investigación obtuvieron una media para el indicador de respuesta diámetro de la cabeza de 17,09 cm para la variedad de lechuga Batavia, lo cual equivale a un contorno de cabeza igual a 53,69 cm, lo cual representan datos menores a los obtenidos en nuestra investigación.

El crecimiento de las plantas tanto en altura como en el diámetro son dependientes de la cantidad de nutriente, agua y aire suministrados a las raíces. Dadas las buenas condiciones que ofreció el caudal de 3,36 L/min, se determina que la capacidad de retención de nutrientes fue la adecuada, esto debido a que las lechugas sembradas en este sistema presentaron mejores valores que los presentados por Marcela G, Camilo R, Benavides B y Chaves J en el 2014.

De acuerdo a los resultados de la longitud de la hoja más grande para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo para  $Q_2$  un promedio de 18,8 cm y para  $Q_1$  una media de 17,8 cm existiendo una diferencia de 1 cm a favor de  $Q_2$ ; y para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head

se obtuvo para  $Q_1$  una media de 19,7 y para  $Q_2$  17,4 existiendo 2,3 cm de diferencia entre ambas pruebas experimentales.

(Arcos, Benavides y Rodríguez, 2011) obtuvieron el mejor resultado para el indicador de respuesta longitud de hoja más grande de 16.36 cm para la variedad de lechuga Coolguarrd en su trabajo de investigación realizado en un sistema NFT con sustratos. Los datos obtenidos por nuestra investigación son superiores a los presentados por Arcos, Benavides y Rodríguez. El crecimiento tanto de la parte aérea como de cada una de las hojas de la Lechuga es un claro indicador de que el medio de cultivo presento las condiciones adecuadas para su desarrollo.

Para el caso del indicador de respuesta peso de la parte aérea se obtuvo mejores resultados con un caudal de trabajo  $Q_1$  con valores de 165.92 g y 90,82 g para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas y lechuga mantequilla o Butter Head respectivamente, y los menores resultados fueron obtenidos con un caudal de trabajo  $Q_2$  en el cual se registró valores medios de 133 y 48,6 g respectivamente, habiendo una diferencia de 32 y 19,5 g para ambas lechugas.  $Q_1$  propicio el mejor desarrollo de la parte aérea porque este creó un ambiente favorable, hecho que se debe a la adecuada disponibilidad de nutrientes y adecuada oxigenación lo cual se refleja en la acumulación de la biomasa o peso de la parte aérea. (Cárdenas, 1999).

Figura 4.20 Diferencia de los pesos de la parte aérea de la lechuga mantequilla o Butter Head



El caudal de 3,36 L/min propició el mejor desarrollo de la raíz y de la parte aérea porque este creó un ambiente favorable, hecho que se debe a la adecuada disponibilidad de oxígeno, agua y nutrientes, hecho que se ve reflejado en la mayor acumulación de la biomasa. Según (Cárdenas, 1999), la acumulación de materia fresca (parte aérea de la planta) es un indicador del estado de vigor de una plántula.

Los pesos encontrados, son inferiores a los hallados por (Carrasco, Tapia y Urrestarazu, 2006) quienes en su trabajo de investigación obtuvieron 157 g/planta para la variedad de Lechuga Esmeralda, el cual es una de las variedades de lechuga mantequilla o Butter Head; sin embargo, es importante precisar que Carrasco, Tapia y Urrestarazu realizaron su trabajo de investigación utilizando sustratos los cuales proveen de manera extra nutrientes minerales lo cual genera un mejor desarrollo de sus raíces y por consiguiente una mejor acumulación de biomasa.

Para el caso del indicador de respuesta peso de la raíz se obtuvo mejores resultados para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas en Q<sub>2</sub> en el cual se observó 42,2 g de peso de la raíz, y para el caso de Q<sub>1</sub> se observó 34,2 g habiendo una diferencia de peso entre ambos caudales de 8 g. Para el caso

de la lechuga mantequilla o Butter Head se determinó que hubo mayor desarrollo en cuanto a este indicador por parte de Q<sub>1</sub> en el cual se observó un peso de su raíz de 27,1 g y para el caso de Q<sub>2</sub> se observó 20,6 g, habiendo de esta manera una diferencia de 6,5 g.

Figura 4.21 Diferencia del peso de las raíces de la lechuga



La conductividad eléctrica a los cuales fueron expuestos las plántulas para las respectivas pruebas experimentales fueron: 2249,15 mS/cm y 1341,62 mS / cm por un periodo de un mes el cual se fue evaluando semanalmente para determinar las posibles variaciones, la conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva. Van der Boon, Dteenuizen y Steingrover (1988) determinan que la conductividad eléctrica en la solución nutritiva que permite un mayor rendimiento en el cultivo de la lechuga oscila entre 1,6 a 2,13 dS/m (1600 a 2130 mS/cm) (Van Der Boon, Steenuizen, & Steingrover, 1988).

Para el indicador de respuesta número de hojas se observó para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas con una CE<sub>1</sub> una cantidad de 20 hojas por planta y para CE<sub>2</sub> una cantidad de 25 hojas, existiendo una diferencia de 5 hojas. Y para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head se observó para CE<sub>1</sub> 17 hojas y para CE<sub>2</sub> 20 hojas, habiendo una diferencia de 3 hojas. Datos similares obtuvieron Arcos, Benavides y Rodríguez (2011) quienes al realizar su trabajo de investigación obtuvieron los mejores resultados en aquellos tratamientos donde utilizaron mayor cantidad de solución nutritiva.

Según (Quesada & Méndez, 2005) al existir mayor cantidad de solución nutritiva, las plantas las plántas incrementan el número de sus hojas por existir mayor concentración de NPK en la solución.

Con respecto a la altura de la planta para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se observó para CE<sub>1</sub> una altura de 29,8 cm y para CE<sub>2</sub> una altura de 26,7, existiendo una diferencia de crecimiento igual a 3,1 cm. Y para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head se observó un crecimiento para CE<sub>1</sub> igual a 24,9 cm y para CE<sub>2</sub> 22,3 cm, habiendo de esta manera una diferencia de crecimiento de 2,6 cm.

El crecimiento de la altura de la planta representa la adecuada disponibilidad de agua, nutrientes y aire. La altura de la planta es un indicador de que el medio proporcionó las cantidades adecuadas de nutrientes y que la disponibilidad del mismo también fue la adecuada, lo que se evidenció en el crecimiento de la altura, en este sentido la conductividad eléctrica de 2249,15 mS/cm ofreció mayor disponibilidad de macro y micro nutrientes necesarios para el crecimiento de la lechuga. Resultados similares fueron encontrados por (Arcos, Benavides y Rodríguez, 2011) quienes en su investigación realizada registraron que existe mejor crecimiento en función a la altura por parte de los tratamientos con mayor concentración de solución nutritiva.

De acuerdo a los resultados para el indicador de respuesta contorno de cabeza de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo para la CE<sub>1</sub> una media de 71,6 cm y para CE<sub>2</sub> 99,3 cm, existiendo una diferencia de 27,7 cm a favor de la CE<sub>2</sub>. Y para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo para CE<sub>1</sub> una media de 106,2 y para CE<sub>2</sub> 113,3 cm, existiendo una diferencia de 7,1 cm.

El contorno de la cabeza de la lechuga permite estimar el crecimiento adecuado de la lechuga (Carneiro, 1995). Para Quesada y Méndez, el crecimiento de las plantas tanto en altura como en diámetro es altamente dependiente del aporte de agua, nutrientes y aire que un medio pueda aportarle.

Para la longitud de la hoja más grande para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo el mayor promedio por parte de CE<sub>2</sub> con 22 cm de altura y para CE<sub>1</sub> se obtuvo 18,8 cm, existiendo de esta manera una diferencia de 3,3 cm. Para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo para CE<sub>2</sub> un promedio de longitud de hoja de 19,7 cm y para CE<sub>1</sub> una media de 17,4 cm, existiendo una variación de longitud igual a 2,3 cm.

(Quesada y Méndez, 2005) explican que el crecimiento de las hojas de la planta es dependiente de la cantidad de agua, aire y nutrientes que un sistema pueda proporcionarles. Al existir mayor disponibilidad de solución nutritiva de lo que requiere la planta, este se almacena en el tallo de la planta, sin embargo, no es favorable para las hojas ya que estas no presentan un mejor crecimiento por el aumento de solución nutritiva.

De acuerdo a los datos obtenidos para el peso de la parte aérea para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo para CE<sub>2</sub> un promedio de peso de 165 g y para CE<sub>1</sub> 148,5 g, existiendo una diferencia de 16,5 g. Y para la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo para CE<sub>2</sub> una media de 68,1 g y para CE<sub>1</sub> se obtuvo 58,8 g, existiendo una variación de 9,3 g.

En función al indicador de respuesta peso de la parte aérea, la menor dosis de solución nutritiva, propició el mejor desarrollo de la raíz y de la parte aérea, porque creó un ambiente favorable para su desarrollo, hecho que se debe a la adecuada relación entre aire, agua y disponibilidad de nutrientes, lo que al final se vio reflejado en una mayor acumulación de la parte aérea. Según (Cárdenas, 1999) la acumulación de materia fresca es un indicador de estado de vigor de una plántula.

En cuanto al indicador de respuesta peso de la raíz para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se obtuvo para CE<sub>2</sub> una media de 51,7 g y para CE<sub>1</sub> se obtuvo 34,2 g, existiendo así una diferencia de pesos de 17,5 g, y para el caso de la lechuga mantequilla o Butter Head se obtuvo para CE<sub>1</sub> una media de 29,4 g y para CE<sub>2</sub> una media de 20,6 g, habiendo una diferencia de 8,8 g.

Finalmente se evidencia que existe una relación directa entre el peso de la parte aérea y el peso de la raíz, esto sugiere que a mayor peso de la raíz, mayor será el peso de la parte aérea. (Mengares, Gonzales, Gutierrez, Honrubia, y Morte, 2004) reportaron que a mayor peso de la raíz, mayor es el peso de la parte aérea.

### 4.3 Contrastación de Hipótesis

#### 4.3.1 Análisis de normalidad de los datos

Se realizó un análisis de normalidad para determinar la variabilidad de los datos, cuyos resultados se demuestran en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Análisis de la normalidad de los datos.

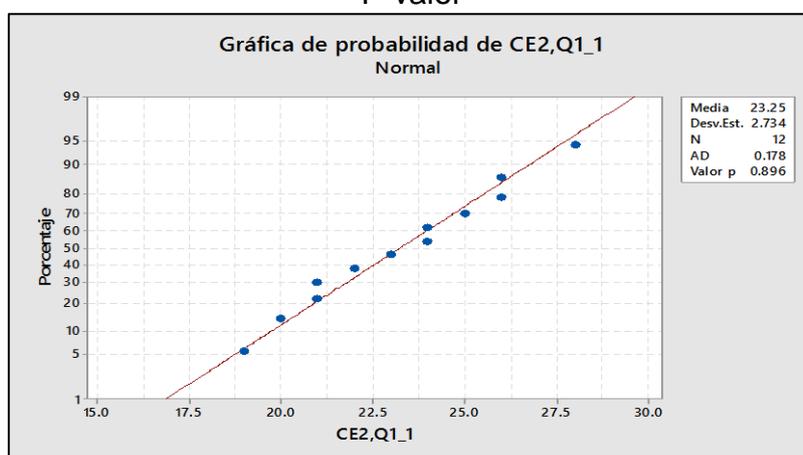
		<b>Análisis de la Normalidad de los datos</b>					
		<b>Lechuga sin cabeza de hojas sueltas</b>			<b>Lechuga mantequilla o Butter Head</b>		
		media	desv est.	valor P	media	desv est.	valor P
<b>Número de Hojas</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	24,00	4,387	0,569	25,00	3,088	0,539
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	20,00	2,217	0,300	17,00	1,240	0,103
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	<b>27,00</b>	<b>1,883</b>	<b>0,013</b>	25,00	2,860	0,102
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	25,00	1,706	0,507	20,00	2,466	0,417
<b>Altura de la planta (cm)</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	30,33	4,250	0,899	25,50	2,111	0,369
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	29,83	2,791	0,085	24,92	2,193	0,087
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	28,00	2,089	0,442	23,25	2,734	0,896
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	26,67	1,670	0,173	22,25	2,417	0,344
<b>Contorno de la cabeza (cm)</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	105,80	4,152	0,052	106,20	14,390	0,816
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	71,58	1,676	0,389	66,00	2,663	0,568
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	104,30	7,250	0,148	113,30	12,370	0,705
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	99,33	5,051	0,702	68,75	2,221	0,394
<b>Longitud de la hoja más grande (cm)</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	<b>17,83</b>	<b>1,899</b>	<b>0,015</b>	19,67	2,103	0,228
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	18,83	4,239	0,472	17,42	3,204	0,469
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	21,92	1,881	0,527	20,75	3,334	0,829
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	22,00	1,279	0,094	19,67	1,435	0,084
<b>Peso de la parte aérea (g)</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	148,50	27,260	0,494	90,82	12,14	0,035
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	118,20	6,746	0,328	42,04	1,875	0,630
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	165,00	46,230	0,260	75,45	12,06	0,492
	CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	113,00	2,475	0,248	<b>48,57</b>	<b>5,246</b>	<b>0,033</b>
<b>Peso de la Raíz</b>	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>1</sub>	34,24	4,387	0,978	<b>27,06</b>	<b>6,638</b>	<b>0,028</b>
	CE <sub>1</sub> ,Q <sub>2</sub>	42,17	2,348	0,711	29,37	2,174	0,504

CE <sub>2</sub> ,Q <sub>1</sub>	51,73	7,598	0,841	27,14	10,130	0,37
CE <sub>2</sub> ,Q <sub>2</sub>	58,84	2,265	0,197	20,57	3,422	0,279

Se realizó el análisis de normalidad para esto se insertó los datos de los resultados obtenidos tras las pruebas experimentales encontrando los valores de la media, desviación estándar y P\_value. De acuerdo a los datos obtenidos para el P\_value se rechaza la hipótesis de que todas los datos respecto a cada uno de los tratamientos son iguales, aceptando la Ha que al menos uno de los datos de cada tratamiento es distinto.

Los indicadores de respuesta en los cuales existe variación de sus datos son número de hojas con CE<sub>2</sub>Q<sub>1</sub> y en la longitud de hoja más grande con CE<sub>1</sub>Q<sub>1</sub> para las lechugas sin cabeza de hojas sueltas; y para las lechugas mantequilla o Butter Head existe variación de sus datos en el indicador peso de la parte aérea con CE<sub>2</sub>Q<sub>2</sub> y en el peso de la raíz con CE<sub>1</sub>Q<sub>1</sub>.

Figura 4.22. Ejemplo de gráfica del cual se extrajo los datos para determinar el P-valor



### ANOVA unidireccional: N\_hojas vs. Caudal

#### Método

Hipótesis nula                      Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna                  Por lo menos una media es diferente

Nivel de significancia     $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Caudal	2	2.27, 3.36

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Caudal	1	42.250	42.250	18.78	0.049
Error	2	4.500	2.250		
Total	3	46.750			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.5	90.37%	85.56%	61.50%

### Interpretación

Se desarrolló un ANOVA mediante la prueba de TUKEY, para esta prueba se ingresó los valores del número de hojas de la lechuga mantequilla o Butter Head tratados con los diferentes caudales, encontrando un P-value = 0,049 siendo menor al valor de significancia del 0,05; según este resultado se rechaza la hipótesis que todas las medias respecto al número de las hojas son iguales, aceptando la  $H_a$  que al menos una de las medias de las hojas de lechuga es diferente, el error de los cuadrados medios es igual 2,25 esto representa que error es pequeño en el análisis estadístico desarrollado.

### Medias

Caudal	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
2.27	2	18.50	2.12	(13.94, 23.06)
3.36	2	25.00	0.00	(20.44, 29.56)

Desv.Est. agrupada = 1.5

### Comparaciones en parejas de Tukey

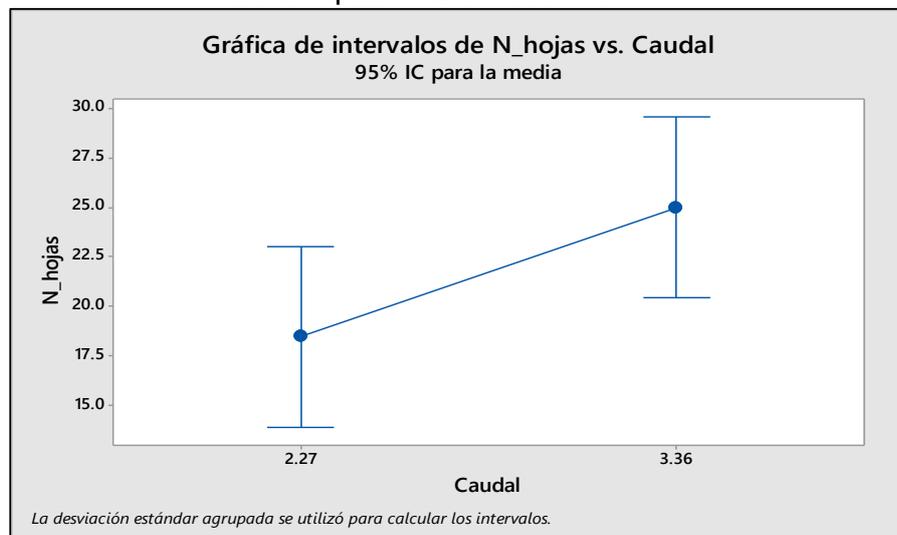
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Caudal	N	Media	Agrupación
3.36	2	25.00	<b>A</b>
2.27	2	18.50	<b>B</b>

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según las comparaciones de pajaras de Tukey con un nivel de confianza del 95% se observa que los dos caudales de operación en el sistema hidropónico para el número de hojas de la lechuga mantequilla tienen diferentes medias por lo tanto existen dos grupos A y B, se deduce que el caudal de 3,36 L/min es el que tiene mayor promedio en el número de hojas de las lechugas en comparación del caudal de 2,27 L/min

Figura 4.23. Gráfica de intervalos de N\_hojas vs. Caudal de la lechuga mantequilla o Butter Head



En la figura 4.23 se observa la diferencia de las medias con un nivel de confianza del 95% con respecto a la variación del número de hojas de la lechuga mantequilla o Butter Head para los dos caudales que se trabajó en el sistema hidrop teniendo mayor efecto el caudal de 3,36 l/min en el número de hojas de las lechugas.

## ANOVA unidireccional: N\_hojas vs. Caudal

### Método

Hipótesis nula                    Todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna                Por lo menos una media es diferente  
Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$   
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Q	2	Q1, Q2

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Q	1	8.752	8.752	1.00	0.422
Error	2	17.420	8.710		
Total	3	26.172			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.95128	33.44%	0.16%	0.00%

### Interpretación

Se desarrolló un ANOVA mediante la prueba de TUKEY, para esta prueba se ingresó los valores del número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas tratados con los diferentes caudales, encontrando un P-value = 0,422 siendo mayor al valor de significancia del 0,05; según este resultado se acepta la hipótesis que todas las medias respecto al número de las hojas son iguales, el error de los cuadrados medios es igual 8,71 esto representa que error es grande en el análisis estadístico desarrollado.

### Medias

Q	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Q1	2	26.00	2.12	(17.02, 34.98)
Q2	2	23.04	3.59	(14.06, 32.02)

Desv.Est. agrupada = 2.95128

### Comparaciones en parejas de Tukey

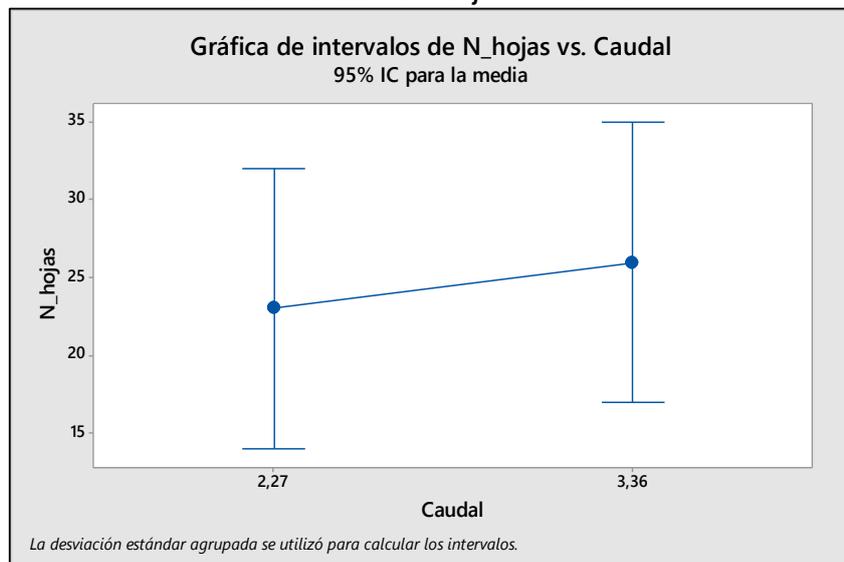
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Q	N	Media	Agrupación
Q1	2	26.00	A
Q2	2	23.04	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según las comparaciones de pajeras de Tukey con un nivel de confianza del 95% se observa que los dos caudales de operación en el sistema hidropónico para el número de hojas de la lechuga mantequilla tienen iguales medias por lo tanto existe sólo un grupo A, por lo cual ambos caudales tienen la misma respuesta frente al indicador número de hojas.

Figura 4.24. Gráfica de intervalos de Número de hojas vs. caudal de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas.



En la figura Se observa que la diferencia de las medias con un nivel de confianza del 95% con respecto a la variación del número de hojas de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas para los dos caudales que se trabajó en el sistema de hidroponía teniendo mayor efecto el caudal de 2,27 L/min en el número de hojas de las lechugas.



## CONCLUSIONES

- La evaluación realizada a las dos variedades de *Lactuca Sativa L.* (Lechuga) determinó que existe un mejor crecimiento para el indicador de respuesta número de hojas para la lechuga mantequilla o Butter Head por el caudal de 3,36 L/min y para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se concluyó que el caudal de trabajo no tiene influencia sobre el mismo indicador de respuesta.
- La influencia que tiene el caudal de trabajo con el crecimiento de la *Lactuca Sativa L.* (lechuga) para el caso de la variedad de lechuga mantequilla o Butter Head es directamente proporcional ya que los mejores resultados se obtuvieron al experimentar con un caudal de 3,36 L/min con valores promedios de 25 hojas/planta, 109,71 cm de contorno de cabeza y 83,14 g de peso de la parte aérea. Y para el caso de la lechuga sin cabeza de hojas sueltas se determinó que el caudal no influye sobre el crecimiento de la esta variedad de lechuga.
- La influencia de la conductividad eléctrica con el crecimiento de la *Lactuca Sativa L.* (lechuga) se evidencio fundamentalmente sobre el indicador de respuesta longitud de la hoja más grande sobre la variedad de lechuga sin cabeza de hojas sueltas mejores resultados aquellas lechugas que fueron sometidas a una conductividad eléctrica de 2249,15 mS/cm con una longitud promedio de 21 cm.
- En cuanto a la relación de los resultados de los indicadores de respuesta para la lechuga sin cabeza de hojas sueltas y lechuga mantequilla o Butter Head fueron los siguientes: 27 hojas con 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min de Caudal y 25 hojas con 2249,15 mS/cm de CE y 3,36L/min de Caudal para ambas lechugas respectivamente; para el indicador respuesta altura de la planta se obtuvo 30,3 y 25,5 cm con 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min de Caudal para ambas lechugas respectivamente, para el indicador de contorno de la cabeza se obtuvo las mejores medias

de 105,8 cm con 2249,15 mS/cm de CE y 3,36 L/ min de Caudal y 113,3 cm 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min, en cuanto a la altura de la hoja más grande se obtuvo 22 cm con 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min y 20,8 cm con 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min para las dos lechugas respectivamente, para el peso de la parte aérea se tuvo mejores resultados con 1341,62 mS/cm de CE y 3,36L/min con valores de 165,02 y 90,82 g para ambas lechugas respectivamente, y finalmente para el peso de la raíz los mejores resultados fueron 58,54 g con CE<sub>2</sub>Q<sub>2</sub> y 29,37 con 1341,62 mS/cm de CE y 2,27 L/min.

## **RECOMENDACIONES.**

- Realizar monitoreos constantes del pH para determinar cómo varia este en función del crecimiento de la lechuga y si afecta al cultivo.
- Realizar investigaciones similares teniendo en cuenta el crecimiento de las lechugas durante el tiempo de cultivo.
- Realizar comparaciones del crecimiento de la lechuga con distintas soluciones nutritivas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2006). *Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT*. INCAP.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2013). *Producción de Hortalizas, Según Departamento, 2013*. Lima.
- Alarcón, V. (2005). Soluciones Nutritivas y Fertirriego. Consideraciones , manejo y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Tecnoagro*, 16-19.
- Alpizar, L. (2004). *Hidroponía*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Alvarado Chávez, D., Chávez Carranza, F., & Anna Wilhelmina, K. (Julio de 2001). Lechugas Hidropónicas. *Seminario de Agro Negocios*.
- Alzate, J., & Loaiza, L. (2008). Monografía del cultivo de la lechuga. *Colinagro*, 37.
- Arcos, B., Benavides, O., & Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca Sativa L.*). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 95-108.
- Barría Márquez, L. A. (2005). *Producción hidropónica de hortalizas en Magallanes*. Magallanes.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Cánovas, M. (2001). Manejo del cultivo sin suelo. *El cultivo del tomate*, 227-254.
- Cárdenas, M. (1999). Manual de plantas económicas de Bolivia. Segunda Edición. *Editorial Los Amigos de Libro*, 333.
- Carneiro, J. (1995). *Produção e controle de qualidade de mudas florestais*. Curitiba, Brasil: FUPEF.
- Carrasco, G., Tapia, J., & Urrestarazu, M. (2006). Nitrate content in lettuce grown in hydroponic systems. *Revista IDESIA*, 25-30.

- Castañeda, F., Valverde, C., & García, L. (1997). Manual de cultivos hidropónicos populares: producción de verduras sin usar la tierra. Guatemala: INCAP.
- Castillo, C. M. (2004). *Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras*. El Zamorano, Honduras.
- Cazco, L. C., & Iñiguez, I. D. (2013). *Diseño e implementación de un prototipo con HMI para automatizar procesos de cultivo Hidropónico de Lechuga*. RIOBAMBA – ECUADOR.
- Chang, M., Hoyos, M., & Rodríguez, A. (2000). Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú.
- Davis, M., Subbarao, K., Raid, R., & Kurtz, E. (1997). Compendium of lettuce diseases. APS Press. *The American Phytopathological Society*, 77.
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, I. T. (2000). *Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea)*. . Recuperado el marzo de 2012, de [http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga\\_hidroponica.html](http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html)
- Duran J. M., M. E. (2000). *Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía*.
- Fajardo Valderrama, S. (2016). *Modelo tecnológico para el Cultivo de Lechugas Bajo Buenas Prácticas Agrícolas en el Oriente Antioqueño*. Medellín, Colombia: Fotomontajes S.A.S.
- FAO. (2002). *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. Roma: Publicaciones de la Dirección de Información de la FAO.
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura*. Roma.
- Gilsanz, J. C. (2007). Hidroponía. *Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología*, 7.
- González, N. F. (2006). *Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores*. México D.F.: Agro Sin. S.A.

- Granval, N., & Graviola, J. (1991). Manual de producción de semillas hortícolas. En *Asociación Cooperadora de Estación Experimental Agropecuaria. La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (pág. 82). Argentina.
- Gutiérrez, M. (2010). El cultivo de la lechuga en Cantabria. Gobierno de Cantabria, Consejería y desarrollo rural, ganadería, pesca y biodiversidad, Centro de investigación y formación agrarias. 24.
- Hohl, U., Neubert, B., Pforte, H., Schonhof, I., & Böhm, H. (2001). Flavonoid concentrations in the inner leaves of head lettuce genotypes. *Eur Food Res Tech*, 213, 205-211.
- <http://www.botanical-online.com/medicinals/lactucasativa.htm>. Propiedades de la lechuga. *Propiedades medicinales de la lechuga*. Botanical.
- Incap. (2012). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica. Instituto de Nutrición. *Organización Panamericana de Salud*, 137.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2006). *Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT*. INCAP.
- IZCO, J. (1997). *Botánica*. Madrid.: McGraw- Hill/Interamericana de España.
- Lastra, O., Tapia, M. L., Razeto, B., & Rojas, M. (2009). Response of hydroponic lettuce cultivars to different treatments of nitrogen: growth and foliar nitrate content. *IDESIA*, 83-89.
- Leslie, H., & Pollard, L. (1954). *Vegetable and Flower Seed Production*. New York.
- Malca, G. (2001). Seminario de agronegocios, lechugas hidropónicas (en línea). (pág. 96). Lima, Perú: Universidad del Pacífico.
- Marcela G, E., Camilo R, J., Benavides B, O., & Chaves J, G. á. (2014). Evaluation of substrates in a hydroponic lettuce culture system in the municipality of Pasto. *Revista de ciencias agrícolas*, 3-16.

- Marschner, H. (2002). Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.
- Marulanda, C. (1992). La hidroponía popular. *Investigación y Progreso Agropecuario La Planta*, 3-11.
- Marulanda, C. (1992). La huerta hidropónica popular, curso audiovisual. Santiago, Chile: OEA/PNUD.
- Mengares, A., Gonzales, D., Gutierrez, A., Honrubia, M., & Morte, A. (2004). Efectos del hongo endomicorrítico *Glomus intradices* en el cultivo ecológico de lechuga tipo Iceberg. *España. Comunicaciones al VI Congreso de la SEASE*, 1589-1596.
- Montgomery, D. (2003). Diseño y análisis de experimentos. México: Limusa Wiley.
- Mosse, F. (2004). *Hidroponía: Cultivos sin suelo*.
- Mundo Guerrero, C. (2013). *Proyectotecnología Hidropónica - Producción de Jitomates y Lechugas*. México D.F.
- Oasis, S. (2007). *Manual de Hidroponía*. Argentina: Albatros.
- Oseda, G., Cori, O., Cerrón, R., & Vélez, A. (2014). *Métodos y técnicas de investigación científica*. Huancayo.
- Osorio, J., & Lobo, M. (1983). *Hortalizas. Manual de asistencia N° 28*. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Quesada, G., & Méndez, C. (2005). Análisis Físicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Agricultura Tropical*, 01- 13.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Hurtado, H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Universidad Militar Nueva Granada*, 32 -51.

- Reyes Tigse, C. A. (2009). *Evaluación de híbridos de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) En Hidroponía aplicando bioestimulante Jisamar en El Cantón La Libertad*. La Libertad, Ecuador.
- Rincón, S. (2005). La fertirrigación de la lechuga Icebert. *Instituto Marciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (Imida), Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)*, 186.
- Rodríguez Delfín, A. (2004). *Manual Práctico de Hidroponía*. Lima.
- Samperio Ruíz, G. (1999). *Hidroponía Basica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra*. México.
- Soria Campos, J. A. (2012). *6° Curso de hidroponía para principiantes*. El Caribe.
- Tapia, M. (1993). Cultivos Hidropónicos. En P. Barriga, & M. Neira, *Cultivos no tradicionales* (págs. 181-190). Chile.
- Texier, W. (2013). *Hidroponía para Todos - Todo sobre la Horticultura en Casa*. Paris - Francia: Mama.
- UNALM, U. N. (2005). *¿Qué es Hidroponía?* Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de [http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que\\_es\\_hidropon%EDa.htm](http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que_es_hidropon%EDa.htm)
- Valadez, A. (1997). *Producción de hortalizas*. México: Noriega Editores.
- Valdés, A. (2015). *Contenido de nitratos en lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en la 3ª Zona de Riego del Río Mendoza*. Mendoza: Tesis.
- Vallejo, A., & Estrada, E. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. *Universidad Nacional de Colombia*, 347.
- Van Der Boon, J., Steenhuizen, J. W., & Steingrover, E. (1988). Effect of EC, and Cl-1 and NH4+ concentration of nutrient solutions on nitrate accumulation in lettuce., (págs. 222: 35-42).
- Whitaker, T., & Ryder, E. (1964). *La lechuga y su producción*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Servicio de Investigaciones

Agrícolas, Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional. México.

Wu, J., & Hamada, M. (2000). *Experiments: Planning, analysis and parameter design optimization*. New York: Wiley & Sons.

Zambrano Mora, A. C. (2014). *Estudio comparativo de Tres Genotipos de Lechuga (Lactuca sativa L.) Cultivadas en tres sistemas de producción hidropónica*. Guayaquil, Ecuador.

Zárate Nicolás, B. H. (2007). *Producción de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) Hidropónico con sustratos, bajo invernadero*. Mexico.

## ANEXOS.

### Fotografías

Figura 4.25. Proceso de construcción e instalación del sistema hidropónico. a) proceso de escabación para los tanques, b) proceso de instalación de los tanques, c) proceso de instalación de la boma hidráulica y d) proceso de instalación de las tuberías de cultivo.



Figura 4.26 Incremento de la solución nutritiva an el tanque.  
a) Incremento de los micronutrientes y b) incremento de los macronutrientes.



Figura 4.27 proceso de siembra de las plántulas de lechuga.



Figura 4.28 Crecimiento de las lechugas



Figura 4.29 Análisis de laboratorio



# Análisis de la composición de la lechuga



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 010599**

## ANÁLISIS FOLIAR

**SOLICITANTE** : MABEL MELIZA YARASCA APAZA  
**PROCEDENCIA** : Sicaya - Huancayo  
**RESP. ANALISIS** : Ing. Elizabeth Monterrey Poiras  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 16 de Setiembre del 2018

Número de muestra		N	P	K <sub>2</sub>	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Boro
Lab.	Campo	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
10599	Lechuga	0.98	0.39	3.32	0.92	0.27	78.03	1.73	35.54	47.84	0.16



LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO  
 Ing. Msc. Jhonn Valdiviazo  
 JEFE DE LABORATORIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH**  
**LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO**

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



**Nº 010615**

**ANÁLISIS FOLIAR**

**SOLICITANTE** : MABEL MELIZA YARASCA APAZA  
**PROCEDENCIA** : Sicaya - Huancayo  
**RESP. ANALISIS** : Ing. Elizabeth Montenegro Pomras  
**FECHA DE ANALISIS** : La Molina, 13 de Octubre del 2016

Número de muestra Lab.	Número de muestra		N %	P %	K <sub>2</sub> %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Boro ppm
	Campo	Lab.										
10589	Lechuga		1.25	0.23	3.64	0.81	0.42	158.21	2.34	23.8	61.4	0.14



LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTILIZACIÓN  
 Ing. Micaela Villarreal Quiroz  
 JEFE DE LABORATORIO