



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



## CRECIMIENTO AEROPÓNICO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA

*(Lactuca sativa L.)* CON SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA

“LA MOLINA” EN CONDICIONES DE INVERNADERO

### TESIS

PRESENTADA POR:

**Bach. LESMES TORRES QUISPE**

**Bach. LIDIA AROQUIPA FLORES**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*Agradecemos a Dios, principalmente por brindarnos salud, vida y esperanza para lograr nuestras metas, por darnos sabiduría, paciencia y fortaleza.*

*Esta tesis está dedicada a nuestros padres y hermanos que nos brindaron el apoyo incondicional y siempre estuvieron en la formación académica de nuestra profesión y a lado durante el desarrollo de este trabajo*

*A nuestros docentes que nos inculcaron sus enseñanzas y nos ayudaron a desarrollar este trabajo de investigación.*



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, principalmente por brindarnos salud, vida y esperanza para lograr nuestras metas, por darnos sabiduría, paciencia y fortaleza.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas y docentes que inculcaron nuestra formación profesional.

A los docentes y personal administrativo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

A nuestros padres que, con su apoyo incondicional y sus buenos consejos, hicieron que no nos deje vencer frente a tantos obstáculos que se nos presentaron.



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 12

**ABSTRACT**..... 13

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL** ..... 15

**1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS** ..... 15

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES**..... 16

**2.2. MARCO TEÓRICO** ..... 19

2.2.1. La lechuga (*Lactuca sativa L.*) ..... 19

2.2.2. Origen ..... 20

2.2.3. Importancia nutricional y económica ..... 21

2.2.4. Morfología y clasificación taxonómica ..... 22

2.2.5. Clasificación de la lechuga según su morfología ..... 23

2.2.6. Fisiología del crecimiento ..... 24

2.2.7. Cultivo de lechuga ..... 25

2.2.8. Sistemas hidropónicos ..... 29

2.2.9. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo ..... 32

2.2.10. Aeroponía ..... 34

2.2.11. Materiales y construcción del invernadero ..... 36

2.2.12. La calidad del agua ..... 39

2.2.13. La solución nutritiva (SN) ..... 40



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	43
<b>3.2. MATERIALES Y DISEÑOS EXPERIMENTALES.</b> .....	43
3.2.1. Obtención de la muestra vegetal.....	43
3.2.2. Cultivo de semillas .....	44
3.2.3. Trasplante de las plántulas.....	44
3.2.4. Control de pH y conductividad eléctrica .....	44
3.2.5. Sistema aeropónico y de cultivo en tierra.....	44
3.2.6. Diseño experimental.....	45
3.2.7. Preparación de la solución nutritiva .....	45
3.2.8. Sistema de riego .....	47
<b>3.3. TIPO DE ESTUDIO</b> .....	48
<b>3.4. METODOLOGÍA</b> .....	49
3.4.1. Determinación del crecimiento de plántulas de lechuga en sistemas de cultivo aeropónico y cultivo en tierra. ....	49
3.4.2. Determinación del efecto de dos concentraciones de solución nutritiva aeropónica sobre la altura planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco. ....	51

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA EN SISTEMAS DE CULTIVO AEROPÓNICO Y CULTIVO EN TIERRA.</b> .....	52
4.1.1. Altura de la planta .....	52
4.1.2. Longitud de la raíz.....	56
4.1.3. Peso fresco.....	60
4.1.4. Peso seco .....	64
<b>4.2. EFECTO DE DOS CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA SOBRE LA ALTURA DE LA PLANTA, LONGITUD DE RAÍCES, PESO EN MATERIA FRESCA Y PESO SECO.</b> .....	67
4.2.1. Altura de la planta .....	68
4.2.2. Longitud de la raíz.....	72
4.2.3. Peso fresco.....	77
4.2.4. Peso seco .....	82



<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	88
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	89
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	90
<b>ANEXOS</b> .....	96
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	97

**ÁREA:** Ciencias Biomédicas

**LÍNEA:** Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 20/11/2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estados de crecimiento de la planta de lechuga, (Rio <i>et al.</i> , 2017).....	25
Figura 2. A) Mapa de la región Puno, y B) Imagen satelital del lugar donde se realizó la investigación, Barrio Chejoña Av. Panamericana N° 316 de la ciudad de Puno. A) y B) Fuente Google maps. ....	43
Figura 3. Diseño del sistema de riego. Elaboración propia. ....	48
Figura 4. crecimiento en altura de plantas de lechuga (cm): control negativo (agua potable sin solución nutritiva); sustrato tierra (tierra de cultivo) y cultivo aeropónico (solución nutritiva hidropónica “La Molina” 176.67 g/100 L).....	53
Figura 5. Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días de realizado el experimento. Puno, julio - diciembre 2019. ....	54
Figura 6. crecimiento en longitud (cm) de la raíz de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	57
Figura 7. Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019. ....	58
Figura 8. crecimiento en peso (g) fresco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno julio – diciembre 2019. ....	61
Figura 9. Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019..	62
Figura 10. Crecimiento en peso seco (g) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	65
Figura 11. Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019..	66



- Figura 12. crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019... 69
- Figura 13. Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019. .... 70
- Figura 14. Crecimiento en longitud (cm) de la raíz de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019... 74
- Figura 15. Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019. .... 75
- Figura 16. crecimiento en peso (g) fresco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019. .... 79
- Figura 17. Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.. 80
- Figura 18. Crecimiento en peso (g) seco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019. .... 84
- Figura 19. Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.. 85





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Países de producción de la lechuga a nivel mundial (Infoagro, 2013). .....	22
<b>Tabla 2.</b> Elementos de la solución nutritiva y su forma de absorción, (Chávez <i>et al.</i> , 2006) .....	41
<b>Tabla 3.</b> Solución nutritiva A y solución nutritiva B. elaboración propia. ....	47
<b>Tabla 4.</b> Promedio de la temperatura de la ciudad de Puno entre los meses de agosto – diciembre 2019. Fuente SENAMHI. ....	49
<b>Tabla 5.</b> Crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	53
<b>Tabla 6.</b> Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 60 días. Puno, julio – diciembre 2019 .....	55
<b>Tabla 7.</b> crecimiento en longitud (cm) de la raíz de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	57
<b>Tabla 8.</b> Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019. ....	59
<b>Tabla 9.</b> Crecimiento en peso (g) fresco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	61
<b>Tabla 10.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019. ....	63
<b>Tabla 11.</b> Crecimiento en peso (g) seco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019. ....	64
<b>Tabla 12.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019. ....	66
<b>Tabla 13.</b> Crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019....	68



<b>Tabla 14.</b> Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019.....	71
<b>Tabla 15.</b> Crecimiento en longitud (cm) de la raíz de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019....	73
<b>Tabla 16.</b> Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 60 días de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019.....	76
<b>Tabla 17.</b> crecimiento en peso (g) fresco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019. ....	78
<b>Tabla 18.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019.....	81
<b>Tabla 19.</b> Crecimiento en peso (g) seco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019. ....	83
<b>Tabla 20.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno, julio- diciembre 2019.....	86



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SN	: Solución Nutritiva
NFT	: Flujo Laminar de nutrientes
T°	: Temperatura
°C	: Grados Celsius
AGS	: Aero Gro System
CE	: Conductividad Eléctrica
DE	: Desviación estándar
CV	: Coeficiente de variabilidad
%	: Porcentaje
<i>et al.</i>	: y colaboradores
ml	: mililitro
mm	: milímetros



## RESUMEN

En la actualidad la producción de lechuga es extensiva en los valles de la costa, pero el uso de pesticidas y riego con aguas residuales representa un problema de salud pública. La investigación tuvo por objetivos determinar el crecimiento de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var, Waldmanns Green) en sistemas de cultivo aeropónico y cultivo en tierra, además de determinar el efecto de dos concentraciones de solución nutritiva hidropónica sobre la altura de la planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco, bajo el mismo sistema de cultivo aeropónico. Se utilizaron soluciones nutritivas hidropónicas “La Molina, monitoreándose su pH y conductividad eléctrica, así mismo la temperatura y humedad del invernadero. El sustrato tierra estuvo compuesta de 1/3 de abono, 1/3 de arena y 1/3 de tierra fértil. Los parámetros biométricos fueron altura de la planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco, comparados por análisis de varianza y prueba Duncan, con un nivel de confiabilidad del 95%. Los resultados fueron que en el sistema aeropónico con solución nutritiva hidropónica “La Molina” (176.67 g/100 L) las plantas de lechuga alcanzaron un crecimiento promedio de 39.1 cm de altura, 40.8 cm de longitud de raíz, 256.0 g de materia fresca y 96.88 g de materia seca, siendo significativamente mayor ( $p = 0.001$ ) que con el cultivo en tierra, presentando en este, promedios de crecimiento de 23.10 cm de altura, 12.83 cm de longitud de raíz, 149.43 g de materia fresca y 47.58 g de materia seca. Finalmente, en el sistema aeropónico con doble concentración de solución hidropónica “La Molina” (353.34 g/100 L), los promedios de crecimiento fueron de 27.03 cm de altura, 40.80 cm de longitud de raíz, 151.35 g en materia fresca y 71.80 g en materia seca, siendo este significativamente menor ( $p = 0.001$ ) en comparación al de concentración simple (176.67 g/100 L).

**Palabras Clave:** Solución nutritiva hidropónica “La Molina”, cultivo aeropónico, *Lactuca sativa* L., Waldmanns Green.



## ABSTRACT

Currently, lettuce production is extensive in the coastal valleys, but the use of pesticides and irrigation with sewage represents a public health problem. The research aimed to determine the growth of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L. var, Waldmanns Green) in aeroponic cultivation and soil cultivation systems, in addition to determining the effect of two concentrations of hydroponic nutrient solution on the height of the plant, root length, weight in fresh matter and dry weight, under the same aeroponic cultivation system. Hydroponic nutritive solutions "La Molina" were used, monitoring its pH and electrical conductivity, as well as the temperature and humidity of the greenhouse. The soil substrate was composed of 1/3 of compost, 1/3 of sand and 1/3 of fertile soil. The biometric parameters were plant height, root length, weight in fresh matter and dry weight, compared by analysis of variance and Duncan test, with a confidence level of 95%. The results were that in the aeroponic system with "La Molina" hydroponic nutrient solution (176.67 g / 100 L) the lettuce plants reached an average growth of 39.1 cm in height, 40.8 cm in root length, 256.0 g of fresh matter and 96.88 g of dry matter, being significantly higher ( $p = 0.001$ ) than with the soil cultivation, presenting in this, growth averages of 23.10 cm in height, 12.83 cm in root length, 149.43 g of fresh matter and 47.58 g of dry material. Finally, in the aeroponic system with double concentration of hydroponic solution "La Molina" (353.34 g / 100 L), the growth averages were 27.03 cm in height, 40.80 cm in root length, 151.35 g in fresh matter and 71.80 g in dry matter, being significantly lower ( $p = 0.001$ ) compared to the simple concentration (176.67 g / 100 L).

**Keywords:** "La Molina" hydroponic nutrient solution, aeroponic culture, *Lactuca sativa* L., Waldmanns Green.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La investigación está basada en el estudio de cultivo aeropónico de lechuga con solución nutritiva hidropónica “La Molina”. Esta biotecnología es una alternativa para los agricultores de la región de Puno. El mayor crecimiento de las plántulas de cultivo aeropónico es gracias a la mejor oxigenación de las raíces, el cultivo no solo puede darse en las lechugas sino también en otras hortalizas y vegetales para el consumo humano, además de forrajes hidropónicos para la ganadería.

La problemática actual en el campo de la agricultura, es el uso de grandes cantidades de insumos agroquímicos, para obtener cultivos de calidad y generar mejores rendimientos, la cual produce altos costos de producción y trae consigo efectos colaterales negativos como la contaminación de suelos y aguas, estos han conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y una creciente dificultad para renovarlos. El uso intensivo y discriminatorio de los suelos y plantas agrícolas son factores que generan un gran impacto ambiental negativo, de tal forma que, si no se propende por su protección y conservación, puede llegar a perder sus características y, su capacidad para ser empleado dentro de procesos productivos. (Rodríguez, 2017). Dichos factores inducen a un desequilibrio ambiental en los suelos y en los vegetales debido a la presencia de contaminantes agroquímicos que aplican los agricultores en el control de plagas, y fertilizantes los cuales son portadores de organolépticos fosforados, metales pesados entre otros contaminantes inorgánicos, alterando la biota del suelo conformada por bacterias, protozoos, anélidos, entre otros organismos benéficos para las plantas y también alterando la composición nutritiva dando una toxicidad en los vegetales.



La realidad mencionada se presenta en casi la totalidad de los suelos y vegetales de la provincia de Puno. En esta investigación se decidió experimentar el sistema de cultivo aeropónico evaluando concentraciones nutritivas para la producción de la lechuga con el sistema de cultivo aeropónico y compararla frente a cultivo sustrato tierra, con la finalidad de que esta biotecnología aeropónica se constituya en una alternativa promisorio al convencional con uso de agroquímicos, que no solo han traído problemas a los actuales consumidores (Ramón *et al.*, 2009).

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el crecimiento en sistema aeropónico de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) con Soluciones Nutritivas “La Molina” en condiciones de invernadero.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Determinar el crecimiento de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistemas de cultivo aeropónico y cultivo en tierra.

Determinar el efecto de dos concentraciones de solución nutritiva hidropónica sobre la altura de la planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

En México en una investigación de concentraciones de solución de Steiner (50% y 75%) a 24 y 28 °C se demostró que al 50% y 24°C existe un mayor crecimiento en biometría, peso y la posición oriente de las plantas de lechuga (*L. sativa L.*) donde las plantas tratadas con soluciones a una concentración de 50% y temperatura de 24°C y la posición oriente fueron las que presentaron mayor altura pues tuvo un incremento de 7.2% comparando con las plantas de la posición del lado superior y poniente. El peso fresco de raíz tuvo una disminución de 12.8% con respecto al lado superior y el volumen de la raíz tuvo una disminución del 8.7% con respecto al lado superior de las camas de cultivo, sin embargo, las plantas tratadas con una concentración de 50%, y temperatura de 28°C, posición del lado oriente, poniente y superior no se observó efecto en ninguna variable (Solano, 2017) siendo así los beneficios de esta tecnología de cultivo aeropónico incrementa y garantiza la cantidad de tonelada por hectárea (Cardiel, 2017) y la adición de aireación en la solución nutritiva provoca una mejor eficiencia de nutrientes y acumulación de biomasa, dando lugar a una mejor absorción de estos (Carreon, 2015). Por otra parte, en una investigación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en lechuga (*lactuca sativa l.*) bajo sistema aeropónico *Bacillus subtilis* influyó significativamente en lechuga italiana Kireve (Kr) sobre altura de planta (19.5 cm) y número de hojas (18.4) y en lechuga italiana Starfighter (Sf) solo en altura (23.93 cm). *Azospirillum brasilense* indujo una mayor longitud de raíz en ambas variedades, mientras que *Rhizobium etli*, indujo mayor altura en Sf (27.93 cm). Las rizobacterias indujeron rangos de suficiencia en P, Ca, Fe y Mn en ambas variedades de lechuga. Es factible el uso de rizobacterias en la





producción de lechuga en aeroponía ya que permiten obtener plantas con mejor calidad (Chávez *et al.*, 2019). En sistema hidropónico cerrado los agentes patógenos en la solución nutritiva frente al cultivo de Jitomate, es nula a la presencia de fitopatógenos (Miranda *et al.*, 2017).

En Ecuador se investigó en la producción de lechuga (*L. sativa L.*) bajo el sistema hidropónico, con 3 dosis de potasio (224.33 ppm, 470 ppm y 716.67 ppm) determinándose que con 224.33 ppm de potasio se obtiene un mejor desarrollo de la lechuga. A diferencia del incremento del potasio, donde se reportaron la lechuga variedad crispa a 40 días después del trasplante 19,61 cm de altura de la planta, 36,40 cm de longitud de raíz, 193,01 g de peso fresco aéreo, 36,65 g de peso fresco de la raíz, 15,12 g de peso seco aéreo y 2,42 g de peso seco de la raíz (Ocaña, 2018). La solución nutritiva “La Molina” presenta la mejor respuesta en condiciones de hidroponía en el desarrollo de la lechuga (*L. sativa L.*) frente a otros productos. La variedad de lechuga “Romana” presenta la mejor respuesta frente al cultivo hidropónico frente al cultivo hidropónico de semillas de Lechuga Romana, Green salad bowl a 39 días después del trasplante donde se reportó 26,12 cm de altura de la planta (Vidal, 2018). El sistema hidropónico presenta mejor desarrollo que el sistema aeropónico, debido a la circulación de la solución nutritiva dejando una lámina de agua aprovechando la raíz para su absorción de los nutrientes donde se reportaron la lechuga (*Lactuca sativa L.*) de la variedad “NEW RED FIRE” en la cosecha de 6 semanas, en el sistema aeropónico es 9.14 cm de altura de la planta, sistema hidropónico es de 25.64 cm de altura de la planta, en el sistema aeropónico es 11.07 cm de largo de la raíz, sistema hidropónico es de 17.46 cm de largo de raíz, sistema aeropónico es 4.13 g de peso de la raíz, sistema hidropónico es de 12.41 g de peso de la raíz, el sistema aeropónico es 6.74 g peso de la hoja, sistema hidropónico es de 35.24 g



peso de la hoja, sistema aeropónico es 1.31 g peso del tallo y sistema hidropónico es de 16.67 g peso del tallo (Gonzales, 2017).

En Ecuador se investigó la producción de semillas de papa (*Solanum tuberosum L.*) en sistema aeropónico con 12 plantas/m<sup>2</sup> y 24 plantas/m<sup>2</sup> de densidad. El que registró mayor número de mini tubérculos es el de 12 plantas/m<sup>2</sup> con 101,65 mini tubérculos/planta (Arias, 2015) Las semillas producidas por sistema aeropónico cultivadas en parcelas con el sistema de manejo umbráculo permitieron obtener 63.27 t/ha y bajo micro túnel 54.90 t/ha (Solorzano, 2015). Por otra parte, en Honduras en una investigación con el sistema de cultivo hidropónico, los mejores resultados en peso fresco y seco según el tipo de solución fueron con la solución nutritiva química y según el tipo de contenedor fueron las botellas recicladas (Molina, 2015) y en Bolivia se investigó el cloruro de potasio (KCl) en sistema de cultivo hidropónico NFT donde se demostraron la lechugas de variedades presento significancia, obteniéndose el mejor peso en la variedad Crocantela con 252,5 g/planta y de menor peso fue la variedad Romana con 183,5 g/planta. Respecto al factor A “Niveles de KCl”, el que presento mejor peso fue el nivel 1 (40%) con un valor de 283 g/planta y el menor promedio mostro el nivel 2 (100%) con 198 g por planta (Choque, 2016).

En Perú, Lima y Arequipa se reportaron la altura de plantas, longitud de raíces, peso en verde y peso en seco donde la variedad Waldmanns green con 23.82 cm de altura, longitud de raíces promedio de plantas con 66.50 cm, peso fresco promedio con 236.20 g, peso en seco promedio por planta con 92.24 g (Granda y Allasi, 2013) y por otra parte en cultivo aeropónico qué la variedad de lechuga (*L. sativa L.*) y solución nutritiva para el cultivo hidropónico en el sistema de flujo laminar de nutrientes, donde la solución nutritiva “La Molina” registró un promedio 19,59 cm de altura y el mejor comportamiento de la altura de la planta fue la variedad Waldmans Green con 19,95 cm (Choque, 2015),



esto se debe a la concentración de nitratos la solución nutritiva “La Molina” 784.1 mg/Kg y la solución nutritiva de la FAO 572.7 mg/Kg donde se determina que una mayor concentración de nitratos se desarrolla mejor la lechuga (*L. sativa L.*) (Anco, 2018) y también que la aeración en el sistema técnica de flujo laminar de nutrientes con aeración pasiva, 1000cc/min y 2000 cc/min de aire que 2000 cc/min tiene un mayor incremento en biomasa y biometría de la lechuga (*L. sativa L.*) (Rodríguez, 2017), donde la mayor oxigenación a las raíces se adapta a la producción intensiva de lechugas (Guzman, 2017). Por otra parte, en cultivos hidropónicos se demuestra la existencia de diferencias altamente significativas en la respuesta al sistema Nutrient Film Technique NFT en las 11 variedades estudiadas, encontrándose que las variedades con mejor comportamiento respecto al peso en fresco fueron Curly Green y Tonya, mientras que la variedad con mejor comportamiento respecto al porcentaje de materia seca fue Bohemia, con un 26% (Espinoza *et al.*, 2018).

En cuanto a los costos de producción para cultivar lechuga hidropónica por el sistema de raíz flotante en un área de 100 m<sup>2</sup> con producción de 3000 lechugas esta tiene una inversión inicial de S/ 6120.00 y costo mensual de S/ 1393.90 donde el costo unitario de lechuga es de S/ 0.46 (Guzman, 2017). En cuanto al costo de producción de 504 lechugas en un área de 100 m<sup>2</sup> en cultivo de suelos preparados es de S/ 597.00 y el ingreso neto por cosecha S/ 756.00 donde el costo unitario de lechuga es de S/ 0.84 (Gutiérrez *et al.*, 2009).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. La lechuga (*Lactuca sativa L.*)**

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es una hortaliza de consumo en crudo y contiene múltiples beneficios, convirtiéndose en una de las más apetecidas a nivel mundial (Ramírez *et al.*,



2016), el permanente cultivo suele ser de 50 a 60 días para las diversidades tempranas, y de 70 a 80 días para las tardías, como término medio, desde la plantación hasta su recolección. Las hojas acogen, al principio de su crecimiento, la forma de roseta, para cerrarse más tarde y formar un “cogollo” más o menos apretado, según sus variedades. Las hojas son lampiñas, ligeramente dentadas, de aspectos variados y a medida que se van encubriendo unas a otras se ausenta su contacto directo con la luz, por lo que desvanece el color verde. La parte de este color verde variable, ocasionalmente tienen las tonalidades rojizas o violáceas, es característico de cada variedad. Teniendo en cuenta a su textura, las hojas pueden ser mantecosas o crujientes, con aspecto ondulado, liso o rizado.(Quintero, 2000)

Las flores son hermafroditas están reunidas en capítulos de color blanco - amarillento, con cinco estambres soldados y un ovario bicarpelar con un solo óvulo que dará origen a la semilla. La fecundación es autógama. Al aire libre su fecundación cruzada es del 1 al 2 por 100. El fruto, al que con frecuencia se llama semilla, es un aquenio de forma alargada y con varias estrías longitudinales. Es de color blanco o negro, terminando en punta, de 3 a 4 mm. de largo y 1 de ancho (Quintero, 2000).

### **2.2.2. Origen**

La lechuga fue una de las primeras hortalizas cultivada por el hombre. Es originaria de la costa sur del Mediterráneo, habiendo sido domesticada probablemente en Egipto. La domesticación fue hecha en la fase vegetativa y no en la reproductiva, utilizando muestras grandes lo cual explica la gran variación existente. Existen pinturas de lechuga en las tumbas egipcias con una antigüedad de 4.500 años A.C. Después de la domesticación, la lechuga se proliferó rápidamente por la hoya del Mediterráneo y posteriormente a Europa Occidental. El relato más primitivo de su cultivo en América es del año 1494 (Cabrera y Salazar, 2004).



### 2.2.3. Importancia nutricional y económica

La lechuga es rica en principios vitamínicos; contiene el 94,8 por 100 de agua, el 1,2 por 100 de proteína, el 0,2 por 100 de grasas, y el 2,9 por 100 de hidratos de carbono. En crudo tiene elevadas dosis de vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C y E, así como de minerales (Quintero, 2000). La lechuga es un alimento rico en vitamina K ya que 100 g. de esta verdura contienen 113 µg. de vitamina K. La lechuga se encuentra entre los alimentos bajos en calorías ya que 100 g. de este alimento contienen tan solo 19,60 kcal. Entre las propiedades nutricionales de la lechuga cabe destacar que tiene los siguientes nutrientes: 1 mg. de hierro, 1,37 g. de proteínas, 34,70 mg. de calcio, 1,50 g. de fibra, 220 mg. de potasio, 3 mg. de yodo, 0,23 mg. de zinc, 1,40 g. de carbohidratos, 8,70 mg. de magnesio, 3 mg. de sodio, 187 µg. de vitamina A, 0,06 mg. de vitamina B<sub>1</sub>, 0,07 mg. de vitamina B<sub>2</sub>, 0,80 mg. de vitamina B<sub>3</sub>, 0,11 µg. de vitamina B<sub>5</sub>, 0,06 mg. de vitamina B<sub>6</sub>, 1,90 µg. de vitamina B<sub>7</sub>, 33,60 µg. de vitamina B<sub>9</sub>, 13 mg. de vitamina C, 0,60 mg. de vitamina E, 28 mg. de fósforo, 0,60 g. de grasa, 1,36. g. de azúcar y 13 mg. de purinas (Villareal, 2019).

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es un cultivo de gran importancia económica nacional e internacionalmente debido a su alta demanda en el mercado ya que se consume en fresco para ensaladas y como decoración en la gastronomía, por su bajo contenido calórico es muy recomendado en dietas. Su importancia también recae en que se adapta a casi cualquier clima, ya que tolera los climas fríos como pocos cultivos (Perez y López, 2013). La importancia del cultivo de la lechuga ha ido incrementándose en los últimos años, debido a la diversificación de tipos varietales como al aumento de la gama. Como podemos observar en la siguiente tabla (Infoagro, 2013).

**Tabla 1.**

*Países de producción de la lechuga a nivel mundial (Infoagro, 2013).*

PAÍSES	PRODUCCIÓN DE LECHUGAS (toneladas)	PRODUCCIÓN DE LECHUGAS (toneladas)
China	7.605.000	8.005.000
Estados Unidos	4.472.120	4.352.740
España	972.600	914.900
Italia	965.593	845.593
India	790.000	790.000
Japón	553.800	560.000
Francia	490.936	433.400
México	212.719	234.452
Egipto	179.602	179.602
Bélgica-Luxemburgo	170.000	170.000
Alemania	166.493	195.067
Australia	145.000	145.000
Reino Unido	139.200	149.900
Portugal	95.000	95.000
Chile	85.000	86.000

#### **2.2.4. Morfología y clasificación taxonómica**

La Raíz es pivotante, corta y con ramificaciones, no sobrepasa los 25 cm de profundidad, las hojas son colocadas en forma de roseta, desplegadas al principio y el borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado, el Tallo es cilíndrico y ramificado, las flores es amarillas, dispuestas en un capítulo o corimbo, el fruto es de color gris, con un pico prominente, un aquenio pequeño y las Semillas son de color blanco o negro, provistas de un vilano plumoso (INATEC, 2018).



La lechuga es una planta autógama, diploide con  $2n= 18$  cromosomas, perteneciente a la familia Asteraceae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa L.* (Maroto *et al.*, 1999). se muestra la clasificación Taxonómica.

Reino:	Plantae – Plantas
Subreino:	Tracheobionta- Plantas Vasculares
Superdivisión:	Spematophyta- Plantas con semilla
División:	Magnoliophyta - Plantas con flores
Clase:	Magnoliopsida - Dicotiledóneas
Subclase:	Asteridae
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	<i>Lactuca L.</i>
Especie:	<i>Lactuca sativa L.</i>

#### 2.2.5. Clasificación de la lechuga según su morfología

**Grupo I** (mantequilla o butter head): presentan cabeza cerrada o semiabierta, superficie de las hojas muy lisa, textura suave, un tanto aceitosa, hojas verdes amarillas. Pertenecen a este grupo, variedades como White Boston, Floresta y Regina.

**Grupo II** (americana, repolluda o crisp head): cabeza firme, color verde intenso, hojas grandes completamente envolventes, se asemeja mucho a un repollo. Pertenecen a este grupo variedades como Great Lakes y Salinas.

**Grupo III** (sin cabeza, de hojas sueltas, Loose leaf): las hojas pueden ser crespas o lisas, de textura suave, la coloración varía de verde claro a verde oscuro. Pertenecen a este grupo variedades como Grand Rapids, Salad Bowl, Victoria, Gorga, Summer y Queen.



**Grupo IV** (romana, romaine/cos-Ietucce): hojas estrechas con crecimiento característico hacia arriba, formando una cabeza ovalada, semiabierta. Pertenecen a este grupo variedades como White Paris, Eiffel Tower y Paris Island.

**Grupo V** (latino, latín): forma una cabeza de hojas sueltas y estrechas, semejante a las del tipo Romana, pero más cortas. Pertenecen a este grupo variedades como Gallega.

**Grupo VI** (tallo, stem): la parte comestible de esta lechuga es el tallo floral tierno, conocida también como lechuga-espárrago. Pertenecen a este grupo la variedad *Celtuce* (Cabrera & Salazar, 2004).

#### 2.2.6. Fisiología del crecimiento

La semilla de plantas de la lechuga es botánicamente un aquenio, definido como un fruto seco e indehiscente de una sola semilla. Esta semilla se humedece con agua, con la cual se activa una serie de mecanismos fisiológicos con los que se inicia el procedimiento de germinación (Rio *et al.*, 2017).

La primera etapa es la imbibición con agua, que introduce e hidrata las membranas celulares; una vez activadas, comienza el crecimiento de la radícula hasta que rompe la testa y comienza la elongación; sigue después la aparición de los cotiledones. Esta fase es de crecimiento y elongación de tejidos, todo dependiente de las reservas alimenticias que tenga la semilla y de la humedad presente. Una vez que la plántula germina y recibe luz, se convierte en autótrofa, las raíces están completamente habituado para embeber el agua y nutrientes, los cotiledones pueden realizar fotosíntesis hasta que emerja el primer par de hojas verdaderas. La segunda influencia importante en la germinación es la T°. La germinación de semillas de lechuga ocurre en un rango óptimo de 18 a 21°C. Temperaturas sobre 26°C pueden inhibirla, esto es llamado termodormancia (Rio *et al.*, 2017).



El crecimiento de la lechuga puede ser dividido en cuatro estadios: plántula, roseta, encabezamiento (no en todos los tipos) y reproductivo, como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1.* Estados de crecimiento de la planta de lechuga, (Rio *et al.*, 2017)

### 2.2.7. Cultivo de lechuga

#### Hidroponía

El vocablo hidroponía proviene de la palabra griega hydro: agua y ponos: trabajo o actividad, es decir, “trabajo del agua” u “actividad del agua”. También se menciona como cultivo sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo (Aquino, 2014). Siendo también un método que se emplea para cultivar plantas utilizando soluciones minerales en vez de suelo agrícola (Bacilo, 2011).

La hidroponía como un sistema “no convencional” para el cultivo de plantas sin suelo, representa una innovación tecnológica que se caracteriza por la aplicación constante de nuevos diseños en el proceso de producción de cultivos, teniendo en común el principio sobre la utilización de soluciones nutritivas para nutrir las plantas. sometiendo a un medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar



en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua (hidropónicos) y cultivos en aire (aeropónicos) (Gilsanz, 2007).

La hidroponía es un sistema de creación denominados también cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio del desarrollo y/o soporte de la planta está compuesto por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con una medida variable de aportes a la nutrición mineral de las plántulas (Gilsanz, 2007).

La hidroponía, es un modelo de cultivo en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante este sistema de cultivo se producen plántulas primordialmente de tipo herbáceo, aprovechando lugares u áreas no convencionales, sin perder de vistas las necesidades de las plántulas, como luz, T°, agua y nutrientes (Beltrano y Gimenez, 2015).

### **Pasado de la hidroponía**

Los primeros reportes son encontrados en China, Egipto e India. Leonardo Da Vinci también desarrollo estos experimentos en este campo. En el 1600 el belga Helmont realizó experimentos que demostraron la obtención de nutrientes por parte de las plantas. R. Boyle (1600) realizó experimentos de crecimiento de plántulas en vasos. En 1699 Woodward demostró finalmente como las plantas obtienen sus alimentos.

En 1860 los alemanes Sachs, y Knop fueron los iniciadores de hacer experimentos de crecimiento de las plántulas en una solución nutritiva, denominado al proceso “nutriculture”. Diferentes trabajos de investigación científica fueron realizados hasta llegar a 1929, donde William F. Gricke, profesor de la Universidad de California, donde define el proceso como hidroponía que significa "agua que trabaja". En la segunda guerra mundial las fuerzas aliadas instalan en sus bases sistemas hidropónicos para proveer de vegetales y frutas frescas a las tropas en conflicto. seguidamente, la hidroponía comercial se expande en el mundo en 1950 (Gilsanz, 2007).



John Woodward (1665-1728), profesor y médico de la Universidad de Cambridge, hacia 1699 realizó un experimento, el que consistió en cultivar durante 77 días plantas en agua que contenían varios tipos de tierra; es decir, Woodward sin saberlo, había desarrollado la primera solución de nutrientes hidropónica artificial. Al culminar el experimento demostró que las plántulas que más se desarrollaron fueron las que crecieron en las soluciones en donde había mayor cantidad de tierra y agua sucia, manifestando que: "es muy razonable inferir que la tierra y no el agua es la materia que constituye a las plántulas, el agua sirve solamente como conductor para que el material terrestre pueda formar el tejido vegetal". Posteriormente, es especial fisiólogos europeos avanzaron en el conocimiento de las plántulas y su nutrición; por ejemplo, se demostró que el agua se embebe principalmente por las raíces, atraviesa el sistema capilar de la plántula, y luego escapa al aire a través de los poros de las hojas. También se comprobó que las plántulas embeben minerales tanto del suelo como del agua, que las hojas liberan dióxido de carbono y que las raíces también pueden absorber oxígeno del aire (Molina, 2001).

Hacia 1842 se publicó la primera lista que incluía 9 elementos considerados esenciales para el crecimiento de las plántulas. Carl. S. Sprengel (1787-1895) y A. F. Wiegman (1771-1853), fisiólogos vegetales de origen alemán, indagaron las investigaciones de De Saussure, sobre la "ley del mínimo", confirmando que, aunque un suelo exista todos los minerales básicos para el crecimiento de las plántulas podía ser improductivo, si faltaba un solo elemento esencial, o si este se encontraba presente en muy pequeña cantidad. Años más tarde, en 1851, Jean Baptiste Boussingault (1802-1887), un científico francés dedicado al estudio de la química agrícola y reconocido como el fundador de la agricultura como ciencia, confirmó las apreciaciones de De Saussure, a través de sus experimentos con medios inertes. Boussingault diseñó varias soluciones nutritivas a base de agua y diferentes combinaciones de elementos puros obtenidos de la tierra, arena,



cuarzo y carbón de leña, a los que añadió soluciones de composición química conocida; finalizo que el agua era esencial para crecimiento de las plántulas al suministrar hidrógeno y que la materia seca de la plántula está constituida por carbono, hidrógeno y oxígeno, provenientes de la atmosfera (Molina, 2001).

Simultáneamente, Justus Von Liebig (1803-1873), investigador alemán, desarrolló su teoría mineral de los fertilizantes y afirmó que el suelo aportaba solamente compuestos solubles e inorgánicos, en oposición a la teoría del humus, que era la más aceptada en ese momento, que consideraba que la materia orgánica del suelo era la única fuente del carbón que asimilaban las plantulas. Salm-Horsmar, en 1856 desarrolló nuevas técnicas para el uso de arena y otros sustratos inertes en el cultivo de las plántulas (Molina, 2001).

Todo este desarrollo terminó con la larga búsqueda de los nutrientes que conforman las plantas y condujo a la elaboración de soluciones nutritivas que permiten el crecimiento y producción de los cultivos a partir de sales de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg), definidos como elementos mayores o macronutrientes, porque la planta los requiere en cantidades relativamente grandes. Varias décadas después, en la medida que fue avanzando el conocimiento de la química y se perfeccionaron las técnicas de laboratorio y los equipos, científicos de diferentes partes del mundo, descubrieron que las plantas requieren cantidades relativamente pequeñas de siete elementos más, conocidos como elementos menores ó microelementos, estos son: hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Molina, 2001).

Uno de los investigadores que más influyó en este campo, fue William Frederick Gericke, profesor de la Universidad de California en Berkeley, quien durante la década de 1930, aparte de haber dado el nombre a esta ciencia al unir las raíces griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), lo que significa literalmente "trabajo en agua", también desarrolló



experimentos comerciales a gran escala en donde cultivo con éxito tomates, lechugas y verduras, raíces y tubérculos como remolachas, rábanos, zanahorias y papas, también frutas ornamentales y flores (Molina, 2001).

### **Presente de la hidroponía**

El desarrollo del plástico, influyó en forma positiva no solo en la agricultura en general, sino también en la hidroponía, ya que solucionó muchos de los problemas relacionados con la contaminación de la solución nutritiva por la corrosión de elementos metálicos y de concretos empleados en algunos de los componentes del sistema (Beltrano y Gimenez, 2015).

### **El futuro de la hidroponía**

El futuro de las grandes ciudades es actualmente uno de los temas de debate. Se dice que en el año 2050 el 80% de la población mundial radicará en centros urbanos, que pone en duda el modelo de crecimiento actual, que no está pensado para satisfacer las nuevas necesidades de los pobladores. El suministro de energía, de agua, el transporte y la gestión de los residuos o los propios sistemas constructivos deberán cambiar para acercarse a un modelo más sostenible, para dar forma a lo que se ha dado en denominar “ciudades inteligentes”. Uno de los problemas que se propone en las grandes ciudades o centros distantes de los lugares de creación, es el abastecimiento de verduras y hortalizas frescas, hecho que ha abierto nuevos horizontes a estos sistemas de cultivo sin suelo (Beltrano y Gimenez, 2015).

#### **2.2.8. Sistemas hidropónicos**

##### **A) Sistema de raíz flotante**

La producción en el sistema de raíz flotante se realiza en tres fases: almácigo, primer trasplante y trasplante definitivo. Para la fase del trasplante definitivo, disponemos de



contenedores de madera de 1 m x 1 m x 0.1 m, forrados interiormente con una manga de polietileno de color negro de 6 micras. En este sistema hidropónico cultivamos primordialmente lechuga, apio y albahaca. En las fases del primer trasplante y trasplante definitivo se requiere de una plancha de tecnopor (poliuretano expandido) perforado, la cual flota en la solución nutritiva sosteniendo a las plantas (Mendoza, 2010).

Para lograr una mejor oxigenación de las raíces, se ha hecho una pequeña modificación al sistema, suspendiendo 2 a 3 cm las planchas de tecnopor, de tal forma que queden soportadas en los bordes del contenedor y de esta forma no estén en contacto con la solución nutritiva, dejando un espacio entre la solución nutritiva y la plancha de tecnopor. Para ello, es necesario extender dos cables o alambres galvanizados N o 16 de un lado a otro del contenedor. Esta práctica permite obtener un mayor desarrollo radicular y un aumento significativo del peso fresco de las plantas, además de prolongar la vida útil de la plancha de tecnopor (Mendoza, 2010).

### **B) Sistema NFT (Nutrient Film Technique)**

El procedimiento de cultivo recirculación de SN "NFT" (Nutrient Film Technique), fue elaborado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El fundamento de este sistema hidropónico consiste en la circulación insistente de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. A semejanza del sistema plateado para las huertas hidropónicas populares, las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Otra particularidad del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que, por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva (Dachelet *et al.*, 1996).



Su inventor, el Dr. Allan Cooper, montó únicamente un sistema consistente de un complejo circuito de canales de concreto donde el flujo de la solución nutritiva se mantenía gracias al funcionamiento de dos bombas. Luego, este sistema fue reducido al diseñarlo con una sola bomba impulsora, aunque persistió por largo tiempo la utilización de canales de cemento. En ese tiempo, parte la elaboración bajo invernadero que fue sustituida por la técnica "NFT" debido a la alta incidencia y costo del control de enfermedades de suelo. Países del norte de Europa, principalmente, han empleado el sistema de cultivo bajo invernadero para cultivar hortalizas de consumo en fresco y de alta calidad. Destaca la producción de lechugas con un mayor número de rotaciones anuales y la de tomates, con un período ampliado de producción que permite la obtención de muy altos rendimientos (Dachelet *et al.*, 1996).

### **C) Cultivo en sustrato**

un sustrato es cualquier medio que se emplea para cultivar plantas en contenedores, entendiéndose por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se halle a presión atmosférica. En principio a esta definición, un contenedor podrá tener dimensiones muy variables, siempre que exista esta restricción de altura, y se hallará, a diferencia de un suelo natural, aislado por la base y con drenaje libre. Un componente común en los cultivos producidos en contenedor es el volumen limitado del sustrato, que obliga a intensificar el riego y el abonado. Por otro parte, la baja elevación de sustrato en el contenedor en comparación con un suelo natural es también restrictiva en la selección del medio, por tener un mayor contenido de agua retenida a bajas tensiones por la matriz del sustrato. El hecho de que los contenedores tengan un volumen limitado hace necesario que se deba proporcionar la máxima cantidad de agua posible por volumen de contenedor y esta agua debe estar retenida a energías bajas, por lo tanto, los sustratos tendrán como primordial característica, a diferencia de suelos naturales que son capaces



de retener el agua a bajas tensiones sin detrimento de su capacidad de aireación (Bures, 2014).

#### **D) Sistema aeropónico**

La aeroponía es un método en hidroponía de cultivo en solución y o raíz flotante; su principal característica es que la raíz de la planta crece dentro de un contenedor, caja o tubo sintético, sin nada más que aire alrededor. La principal ventaja técnica de este sistema es la extraordinaria oxigenación que se le proporciona a la raíz, el cual es uno de los factores limitantes en otros sistemas hidropónicos. En la aeroponía el sistema de irrigación o aspersión es de suma eficacia, ya que mantiene hidratada a la raíz de las plantas con la solución nutritiva en periodos regulares, con el fin de garantizar su nutrición y desarrollo (Cardiel, 2017).

### **2.2.9. Ventajas e inconvenientes de los cultivos sin suelo**

#### **A) Ventajas**

Tiene como ventaja el menor número de horas de trabajo y más livianas 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 los trabajos son más ligeros que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra.

la rotación de cultivos no es obligatoria en estos sistemas como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la no existencia de suelo.

No existe la competencia por nutrientes de las plantas voluntarias o por microorganismos de suelo.

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.

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 inspeccionada. Además, en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación.

Reducción en aplicación de Agroquímicos en estos sistemas, ya que el suelo como fuente de hospedaje o ciclo de enfermedades desaparece, de todos modos, los sistemas hidropónicos no son inmunes a la presencia de patógenos sobre todo aquellos que pueden colonizar medios líquidos. Por otro lado, las plagas pueden tener un problema similar que, en los sistemas rutinarios, pero en la medida que se implementen estrategias de control, como el control integrado de plagas y enfermedades, así como un mejor control de las condiciones de crecimiento, redundará en una aplicación menor de plaguicidas.

La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. En general es probable desarrollar producciones comerciales celebres en áreas tan pequeñas como el fondo de una casa (Gilsanz, 2007).

## **B) Inconvenientes**

Los costos básicos son altos en estos sistemas donde 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 T°, humedad y luz del lugar de crecimiento del cultivo, tendremos mayores grados de inversión en equipos de medición y control. Por otra parte, el sistema que



requieran un aporte energético, como los sistemas circulantes, diferirán en los costos de aquellos sistemas flotantes o estáticos.

Se requiere de conocimientos de fisiología y nutrición este tipo de producciones demandan una mayor especialización del productor donde demandando un grado mayor de conocimientos respecto al funcionamiento del cultivo y de la nutrición de éste. Repentinos cambios de T° o de ventilación tendrán respuesta directa en el cultivo, sobre todo en ambientes protegidos. El íntimo comunicación del productor con el cultivo permitirá prevenir tales cambios ambientales y la regulación de las necesidades nutricionales de acuerdo a las exigencias de éste.

Los desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo al no tener suelo se pierde la capacidad buffer de la solución nutritiva frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de exageración como de déficits nutricionales. El trabajador deberá estar muy atento al equilibrio de la fórmula nutricional y a sus cambios durante el ciclo.

Se requiere agua de buena calidad, así como en los sistemas tradicionales de producción donde se necesita un suelo de adecuadas condiciones para la producción, en los sistemas hidropónicos se requiere agua de buena calidad, sobre todo libre de contaminantes y de excesivas sales, con un pH cercano a la neutralidad (Gilsanz, 2007).

#### **2.2.10. Aeroponía**

La aeroponía es parte del sistema hidropónico por primera vez, fue creado por el Dr. Franco Massantini (Universidad de Pisa Italia), que le accedió crear las denominadas "columnas de cultivo". Una columna de cultivo consta en un cilindro de PVC, u otros materiales, poniendo en postura vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante. Las raíces se



desarrollan en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo comprometidos al aire, de ahí el nombre de aeroponía. Por el interior del cilindro una tubería dispone la solución nutritiva mediante pulverización mediana o baja presión (Duran *et al.*, 2000).

La primordial ventaja que contribuye la aeroponía es el magnífico aireación que este sistema proporciona a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía, basta tan solo considerar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de 5-10 mg/L a 20 °C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que nos indica que la concentración de oxígeno en el aire es del orden de 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas disuelto en el agua. Los primordiales desventajas que muestran los sistemas de cultivo aeropónicos tradicionales son: el costo alto de la instalación y las obstrucciones de las boquillas de pulverización que pueden producirse si no se dispone de presión suficiente y una instalación adecuada (Otazu, 2010).

Los sistemas de cultivos aeropónicos que se usan actualmente son diferidos lo que al principio el Dr. Massantini ha utilizado en sus investigaciones en Italia, los investigadores de la Agricultural Research Organisation pusieron a punto un sistema comercial que denominaron Ein-Gedi System (EGS). En realidad, se trata de un sistema de cultivo aerohidropónico, que consiste en descender la mayor parte de las raíces en la matriz de una SN que se halla constantemente en circulación; la solución nutritiva se pulveriza sobre la parte alta de las raíces proyectando aire a alta presión por medio de una tubería finamente perforada mediante tecnología láser, en contracorriente con la solución nutritiva circulante. De esta forma, se logra que una parte de la raíz esté continuamente en contacto con la SN recirculante y la otra se halle bien aireada (Duran *et al.*, 2000).

La innovación aeropónica, desarrollada en Australia, en la actualidad recibe el nombre de "Aero-Gro System" (AGS sistema de aereocrecimineto). Se singulariza



fundamentalmente de los demás sistemas aeropónicos porque integra tecnología ultrasónica, lo que permite proyectar la SN a baja presión, con gotas finamente pulverizadas y sin problemas de impedimento en tuberías y boquillas de pulverización. Se ajusta de una tecnología demostrado en los principios que se utilizan en clínicas y hospitales para tratar pacientes que sufren determinados problemas asmáticos, la pulverización ultrasónica de agua vaporizada, a temperatura ambiente, y a baja presión (Duran *et al.*, 2000).

### **2.2.11. Materiales y construcción del invernadero**

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

### **Aspectos constructivos en módulos aeropónicos**

La infraestructura en aeroponía debe explotar el espacio vertical de los invernaderos, el follaje, y la raíz se desarrollan mucho más en aeroponía que con el sustrato convencional. Generalmente el factor climático limitante dentro del invernadero es el calor. Así, invernadero con techos bajos son más calientes que invernaderos con techos altos. La orientación del invernadero es también importante para evitar el calor durante el día. Normalmente, los invernaderos con ubicación este - oeste son más frescos que los que tiene orientación norte- sur. Los invernaderos sin techo (Solo con malla) han demostrado



ser inapropiados para aeroponía. Hay que tomar precauciones si solo existe una malla antiáfida como techo, porque en ella se puede acumular polvo con esporas de patógenos que con la lluvia se pueden lavar e ir hacia los cajones, contaminando eventualmente a las plantas (Otazu, 2010).

## **Diseño y materiales usados en aeroponía**

### **A) Distribución de cajones y diseño**

Si se cuenta con un invernadero, se deben distribuir los cajones de modo que se tenga un uso eficiente del espacio, pero también brindando comodidad al operador. Los cajones pueden ser distribuidos a lo largo del invernadero. El material que tiene más gasto en la construcción de cajones es el tecnopor. Este viene en planchas de diferentes tamaños, dependiendo del lugar. El ancho de los cajones deberá ser apropiado al tamaño de las planchas utilizables la capacidad más grande es más conveniente porque se le puede utilizar en forma más eficaz en cuanto a la asignación de plantas por cajón. También hay que estudiar el tipo de nebulizadores a utilizarse (Otazu, 2010).

### **B) Materiales**

Los cajones de aeroponía deben tener un exiliamiento térmico apropiado de modo que las fluctuaciones de  $T^{\circ}$  dentro del invernadero no afecten el desarrollo radicular de las plantas. Los cajones también deben tener una rigidez y solidez adecuadas. Esto se debe tener en cuenta junto con la disponibilidad de materiales. Para la construcción de cajones tenemos varias opciones. El armazón de los cajones puede ser de madera o metal. La madera es de bajo costo y está siempre disponible. Como material aislante se tiene el tecnopor, pero también puede considerarse la madrea y el cartón o la madera prensada, siempre y cuando se le provea de protección contra la humedad. Todo este material de relleno de estructura debe ser revestido con plástico negro (Otazu, 2010).



### **C) Construcción de los cajones**

Las alturas de los cajones deben ser entre 0.80 m. a 1.0 m. Las cajas deben tener ventanas laterales de 0.50 x 0.30 m cada metro, de modo que el operador pueda tener acceso al sistema de raíces al momento de la cosecha. Cuando el sistema está en funcionamiento, el líquido sobrante de la nebulización debe regresar por gravedad a la solución nutritiva. Con este fin, las cajas deben tener una pendiente. La cubierta superior de tecnopor debe poseer orificios para la fijación de las plántulas. Esto debe ser de acuerdo a las distancias requeridas. El revestimiento interior de las cajas requiere plástico negro, pues de lo que se trata es de evitar cualquier entrada de luz al sistema radicular de las plantas. La parte inferior interna (piso) debe ser forrada con plástico grueso para evitar fuga de nutrientes. El encubrimiento superior exterior se puede hacer con plástico transparente o blanco para acceder a una menor densidad de calor y mayor luminosidad para las plantas. Las tapaderas superiores que encubren la parte interna, deben utilizar plástico negro delgado. El mismo plástico negro delgado debe utilizarse para encubrir las ventanas, a manera de doble cortina. La cortina interna previene que la solución nebulizada de nutrientes evacue hacia fuera de la caja. La parte externa previene que la luz no penetre a la caja. La tubería de 16 mm. debe correr a través del lugar céntrica superior de las cajas con nebulizadores cada 60- 65 cm. La cobertura superior debe fijarse exactamente sobre el resto del armazón. Las barras transversales deben sostener la tubería de distribución. Estas barras estarán comprometidos a la SN. Se debe contar con dos tanques y dos electros bombas por módulo. Las bombas y los tanques deben colocarse en la parte externa lateral del invernadero. Todas las cajas deben tener una pendiente hacia el tanque. Estas pendientes permiten que el exceso de la solución nutritiva regrese al tanque por gravedad. Con este fin, el tanque debe instalarse por debajo del nivel del suelo de manera que la parte inferior de cada caja esté siempre por encima de la porción superior del tanque (Otazu, 2010).



## **Programación del tiempo**

Existen programadores de tiempo (timers) que pueden ser graduados cada 10 segundos. Además de ser costosos muy elevados, no siempre se encuentran en el mercado local y requiere de complejos procesos de programación que pueden alterarse si se producen frecuentes cortes de energía. En el CIP- Huancayo se han utilizado programadores manejables que pueden calibrarse para que marchen cada 15 minutos. Farran y Mingo (2006) usaron timers calibrados para que el sistema funcione 10 segundos cada 20 minutos. Durante las noches frías es suficiente que el sistema funcione 15 minutos cada hora. Durante el día se puede programar para la marcha de 15 minutos x 15 minutos de periodo inerte. En cuanto a los nebulizadores, se hallan muchos ejemplares. Usualmente se venden en tiendas especializadas en equipos de riego o de invernaderos. Respecto al generador de energía, si no se tiene uno que trabaje automáticamente cuando se corta el fluido eléctrico, se debe implementar un sistema de alarma que permita encender el generador alterno, especialmente los fines de semana. Esto es especialmente en sitios con servicio defectuoso de energía eléctrica (Otazú, 2010).

### **2.2.12. La calidad del agua**

El agua es un elemento elemental para la existencia de los seres humanos, es ocurrente en todas las actividades que realizan y hasta la actualidad no se conoce otra sustancia que pueda sustituirla, por esa razón, se considera que es el recurso que definirá el desarrollo sostenible, donde constituyen la base de los recursos naturales, el progreso alcanzado en los últimos 20 años en la utilización de nuevas tecnologías en la agricultura y la industria alimentaria (Parris, 2011) que es necesario el estudio de la calidad de las aguas para la valoración de la sostenibilidad de las cuencas (Hidalgo, 2015).

El uso del agua para la agricultura protegida, está íntimamente relacionada con el concepto de fertirrigación, a través del parámetro de calidad, que engloba concentración



de sales disueltas (CE), presencia relativa de sodio (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos (que condicionan el pH), concentración de cloro, boro, hierro y manganeso; y nutrimentos como calcio, magnesio y sulfatos que determinan el balance final en la aplicación de fertilizantes en la preparación de una solución nutritiva (Gómez *et al.*, 2015).

### **2.2.13. La solución nutritiva (SN)**

la solución nutritiva es aquella solución donde encontramos nutrientes minerales disueltos en agua (Maroto, 1999), se mezcla de diversos fertilizantes que al solubilizarse en agua hacen que los elementos químicos que los forman se ionicen y puedan fácilmente ser absorbidos por las raíces de las plantas (Fuentes, 2009). El conocimiento de cómo elaborar y manejar la SN permite utilizarlo al máximo, para así obtener un mayor provecho de los cultivos y una mejor calidad de los frutos. Por lo tanto, es conveniente conocer los aspectos fundamentales para elaborar una SN: el pH, la concentración iónica total (presión osmótica), determinada mediante la conductividad eléctrica la relación mutua entre aniones, la relación mutua entre cationes, la concentración de amonio, la temperatura y el oxígeno disuelto (Chávez, *et al*, 2006).



**Tabla 2.***Elementos de la solución nutritiva y su forma de absorción, (Chávez et al., 2006)*

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	Elemento	Símbolo	Forma de absorción
Carbono	C	CO <sub>2</sub>	Zinc	Zn	Zn <sup>2+</sup> , Zn(OH) <sub>2</sub>
Hidrogeno	H	H <sub>2</sub> O	Manganeso	Mn	Mn <sup>2+</sup>
Oxígeno	O	H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub>	Cobre	Cu	Cu <sup>2+</sup>
Nitrógeno	N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Boro	B	B(OH) <sub>3</sub>
Fosforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Molibdeno	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>
Potasio	K	K <sup>+</sup>	Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>
Calcio	Ca	Ca <sup>2+</sup>	Silicio	Si	Si(OH) <sub>4</sub>
Magnesio	Mg	Mg <sup>2+</sup>	Sodio	Na	Na <sup>+</sup>
Azufre	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cobalto	Co	Co <sup>2+</sup>
Hierro	Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Vanadio	V	V <sup>+</sup>

### **El pH de la solución nutritiva**

El pH es un valor variante entre 0 a 14 que indica la acidez u la alcalinidad de una solución (Chavez *et al.*, 2006), el valor de pH más adecuado para una SN oscila entre 5.5 a 6.5 en esta circunstancias, las sales se encuentran totalmente ionizadas y/o solubilizadas para la disposición de las plántulas. Cuando esto no se cumple, entonces se precipitan los nutrientes (Fuentes, 2009).

### **Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva**

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición (Suarez, 2006). La conductividad eléctrica(CE), se manifiesta la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego, la medida la conductividad eléctrica se realiza



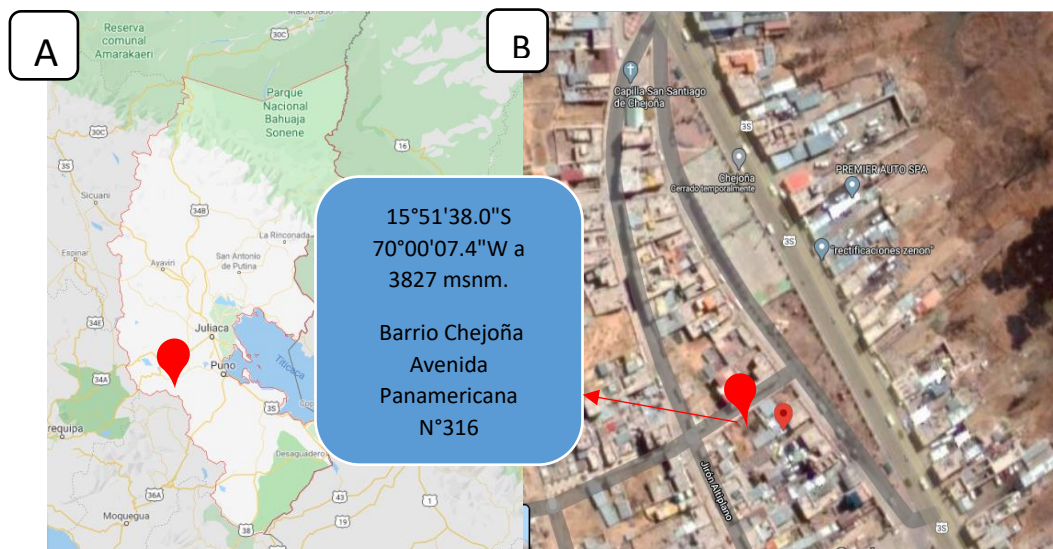
mediante un conductivímetro. La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades, se suele expresar en dS/m, mS/cm o  $\mu\text{S/cm}$  ( $1\text{dS/m} = 1\text{mS/cm} = 1000\text{mS/cm}$ ). (Chavez et al., 2006) Se ha constituido que la SN, es decir el  $\text{H}_2\text{O}$  del lugar con los fertilizantes disueltos en ella, no debe exceder en general una CE entre 2500 a 4000  $\mu\text{S/cm}$  a 25 °C (Fuentes, 2009).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en un invernadero localizado en el Barrio Chejoña Av. Panamericana N°316 de la periferia sur de la ciudad de Puno, distrito, provincia y región Puno, localizada en las coordenadas  $15^{\circ}51'38.0''S$   $70^{\circ}00'07.4''W$  a 3827 msnm véase figura 2.



**Figura 2.** A) Mapa de la región Puno, y B) Imagen satelital del lugar donde se realizó la investigación, Barrio Chejoña Av. Panamericana N° 316 de la ciudad de Puno. A) y B) Fuente Google maps.

#### 3.2. MATERIALES Y DISEÑOS EXPERIMENTALES.

##### 3.2.1. Obtención de la muestra vegetal

Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de variedad Waldmanns Green fueron adquiridas en la Agroveterinaria ECIPAT de la ciudad de Juliaca, luego germinadas en invernadero. Las plántulas de lechuga se obtuvieron a las tres semanas después de su



germinación en sustrato musgos para el cultivo aeropónico y para el sustrato tierra en el mismo sustrato.

### **3.2.2. Cultivo de semillas**

Las semillas adquiridas fueron sembradas en sustrato musgos para el cultivo aeropónico y para el cultivo en sustrato tierra en la misma donde: 1/3 parte de abono, 1/3 parte de arena y 1/3 parte de tierra fértil, tanto los riegos para ambos han sido de acuerdo a la sequedad donde el sustrato debe estar húmedo.

### **3.2.3. Trasplante de las plántulas**

Las plántulas de lechuga después de tres semanas de ser sembradas han sido trasplantadas tanto a las camas aeropónicas y al sustrato tierra. Solo para el trasplante a las camas aeropónicas se dieron un previo lavado con agua destilada a las raíces de las plántulas.

### **3.2.4. Control de pH y conductividad eléctrica**

Para la medición del pH y CE se utilizó un pHmetro digital de marca HITECH PH98108 y un medidor digital de CE de marca e- LABShop Conductimetro TDS&EC, pero las muestras del agua potable y de las soluciones nutritivas fueron llevadas al laboratorio de agua y suelos del INIA-Salcedo véase en anexos 4. La fuerza de bombeo de solución hidropónica fue proporcionada por electrobombas de marca TRUPER de ½ caballo de fuerza, y para medir la biometría de las plantas se utilizó una regla milimetrada, finalmente la biomasa de las plantas de lechuga se pesó en una balanza digital de marca 500 g x 0.01 g Notebook Series Digital Scale con 5 dígitos.

### **3.2.5. Sistema aeropónico y de cultivo en tierra**

Se diseñó el sistema aeropónico en un invernadero con un área de 10 m<sup>2</sup>, y altura de 2 m. La infraestructura del invernadero se basó en el tipo media agua según la forma que adopta el techo es con caída, donde la estructura fue de madera y la cubierta de



poli-carbonato, dentro de la cual se distribuyeron 8 camas aeropónicas de 1 x 0.7 m. (Ramos, 2008) y para medir la temperatura y humedad del invernadero se utilizó un termómetro digital de marca BOECO.

Para el cultivo en tierra fue en un invernadero con un área de 4 m<sup>2</sup>, y altura de 2 m con un sustrato de: 1/3 de abono, 1/3 de arena y 1/3 de tierra fértil (Silva, 2017). El sustrato tierra fue analizado en el Laboratorio de Agua y Suelo del INIA véase en Anexo 100 y 101.

### **3.2.6. Diseño experimental**

Se evaluaron 4 tratamientos: T1, control (sin solución nutritiva); T2, cultivo en sustrato tierra; T3, cultivo aeropónico con una solución nutritiva a 176.67 g/100 L.; y T4, cultivo aeropónico con una doble concentración de solución nutritiva a 353.34 g/100 L. Previa utilización de agua potable en la preparación de soluciones nutritivas, se analizó en el Laboratorio de Análisis de Agua y Suelos del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA-Puno), siendo los valores de pH: 6.43 y CE: 1.032 mS/cm. entre otros parámetros véase en anexos 99, se diluyó la Solución Nutritiva en agua potable a 176.67 g/100 L con una conductividad eléctrica de: 1.84 mS/cm y a 353.34 g/100 L de Solución Nutritiva con una conductividad eléctrica de: 3.60 mS/cm, las dos concentraciones de solución nutritiva se llevaron a analizar al laboratorio de agua y suelos INIA véase en anexos 102. Se evaluaron 4 muestras al azar cada 15 días, hasta los 60 días de instalados los experimentos siendo los parámetros biométricos: altura de la planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco.

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

Solución nutritiva hidropónica “La Molina” se adquirió de Hidroponía La Molina, Centro de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, está compuesta por dos



partes la Solución A y la Solución B, la solución nutritiva hidropónica es para 1000 litros de agua por lo cual se llevó a pesar para ser reformulada para 100 litros de agua en la balanza contadora Analítica Digital Gramera 200 Gr – Bq200 en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas – UNA Puno.

#### **3.2.7.1. Solución concentrada A**

Disolver el nitrato de potasio en 300 ml de agua y agitar hasta disolver totalmente luego agregar el nitrato de amonio sobre el nitrato de potasio disuelto y agitar la solución. En otro recipiente, remojar el superfosfato triple en 50 ml de agua durante una hora, agitar bien el superfosfato triple y agregar sobre la solución de nitrato de potasio y nitrato de amonio. Lavar varias veces el agua el superfosfato triple que queda en el recipiente. El lavado se vierte sobre la solución de nitrato de potasio y nitrato de amonio. Luego de varios lavados de tres a cinco veces con muy poca agua, eliminar la arenilla que queda en el fondo del recipiente y después en la solución preparada agregar agua hasta completar 500 ml (volumen final), finalmente agitar la solución y almacenar en un envase oscuro.

#### **3.2.7.2. Solución concentrada B**

Disolver el sulfato de magnesio en 100 ml de agua. Agitar hasta disolver totalmente en otro recipiente echar la mezcla de micronutrientes en 10 ml de agua destilada o hervida. Agitar hasta disolver totalmente. Echar la solución sobre el sulfato de magnesio disuelto. Agregar el quelatato de hierro y agitar bien la solución luego agregar agua hasta completar 200 ml (volumen final) y finalmente agitar la solución y almacenar en un envase oscuro.

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

**Tabla 3.**

*Solución nutritiva A y solución nutritiva B. elaboración propia.*

<b>T3: Solución Nutritiva al 176.67 g/100 L</b>			<b>T4: Solución Nutritiva al 353.34 g/100L</b>		
<b>Solución A</b>			<b>Solución A</b>		
Nitrato de amonio	=	30.0 gr/100 L	Nitrato de amonio	=	60.0 gr/100 L
Superfosfato triple	=	25.0 gr/100 L	Superfosfato triple	=	50.0 gr/100 L
Nitrato de potasio	=	76.5 gr/100 L	Nitrato de potasio	=	153.0 gr/100 L
<b>T3: Solución Nutritiva al 176.67 g/100 L</b>			<b>T4: Solución Nutritiva al 353.34 g/100L</b>		
<b>Solución B</b>			<b>Solución B</b>		
Sulfato de magnesio	=	41.60 gr/100 L	Sulfato de magnesio	=	83.20 gr/100 L
Quelato de hierro	=	2.20 gr/100 L	Quelato de hierro	=	4.40 gr/100 L
Quelato de zinc	=	0.22 gr/100 L	Quelato de zinc	=	0.44 gr/100 L
Quelato de manganeso	=	0.83 gr/100 L	Quelato de manganeso	=	1.66 gr/100 L
Quelato de Cobre	=	0.04 gr/100 L	Quelato de Cobre	=	0.08 gr/100 L
Ácido bórico	=	0.285 gr/100 L	Ácido bórico	=	0.57 gr/100 L

Tratamiento 3 (T3): Solución Nutritiva al 176.67 g/100 L con una conductividad eléctrica de 1.84 mS/cm, pH 5.5 y una temperatura promedio de 10 °C, T° mínima de 7 °C y T° máxima de 13 °C.

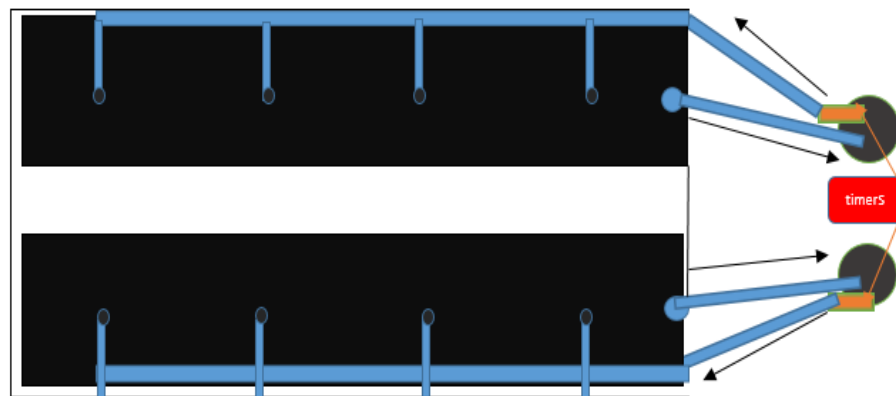
Tratamiento 4 (T4): Solución Nutritiva al 353.34 g/100L con una conductividad eléctrica de 3.60 mS/cm, pH 5.5 y una temperatura promedio de 10 °C, T° mínima de 7 °C y T° máxima de 13 °C.

Para poder controlar el pH del agua potable y las soluciones nutritivas se utilizó el ácido acético y el bicarbonato de sodio para poder subir.

### **3.2.8. Sistema de riego**

Para la instalación del sistema de riego se creó un diseño como se muestra en la figura 3 además, se preparó 2 reservorios de agua con 100 L cada uno, dentro de ellas se colocaron

las soluciones nutritivas, A cada tanque se le instaló una electrobomba de  $\frac{1}{2}$  HP para bombear la Solución Nutritiva, el apagado y encendido de cada bomba se controló con el uso de timers de 10 minutos de encendido y 20 minutos de apagado donde la suministración de la solución nutritiva fue cada 15 días. En la parte inferior de las camas se colocaron un soporte de plástico grueso de color negro con caída a un extremo, se les perforaron en la parte inferior de un extremo para conectar la manguera que traslada la Solución Nutritiva nuevamente al reservorio para almacenar y volver a nebulizarla en el siguiente riego (Solano, 2017). Para el cultivo en sustrato tierra el riego será de acuerdo a la sequedad donde el sustrato tierra debe estar húmedo con el agua.



*Figura 3.* Diseño del sistema de riego. Elaboración propia.

### 3.3. TIPO DE ESTUDIO

La Investigación fue de tipo exploratorio y experimental, debido a que se busca conocer el crecimiento de plantas de lechuga bajo un sistema de cultivo aeropónico frente a cultivo sustrato tierra y dos concentraciones de solución nutritiva, mediante mediciones biométricas de la altura de la planta, longitud de raíz, peso fresco y peso seco.



### 3.4. METODOLOGÍA

#### 3.4.1. Determinación del crecimiento de plántulas de lechuga en sistemas de cultivo aeropónico y cultivo en tierra.

Se diseñó un sistema de cultivo aeropónico en condiciones de invernadero, tanto como para el cultivo en sustrato tierra.

La temperatura promedio del invernadero fue de 13.22 ° C, máximas de 32 ° C, mínima de 1.6 ° C y la humedad promedio de 41 % con máximo de 72 % y mínima de 20 %. En cuanto a la precipitación pluvial, T° máxima y T° mínima de la ciudad de Puno se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 4.**

*Promedio de la temperatura de la ciudad de Puno entre los meses de agosto – diciembre 2019.  
Fuente SENAMHI.*

Mes	T ° Máxima	T° Mínima	Precipitación (mm/mes)
Agosto	14.9	0	12
Setiembre	15.9	1.7	23
Octubre	16.5	3.4	53
Noviembre	16.8	4.3	54
Diciembre	16.6	5.3	87

##### 3.4.1.1. Frecuencia de mediciones de crecimiento y muestreo

Las evaluaciones o muestreos de los experimentos del cultivo en sustrato tierra (T2) y el cultivo aeropónico (T3) se evaluaron 4 muestras al azar cada 15 días de cada tratamiento hasta los 60 días de instalados los experimentos, determinando el crecimiento con los parámetros biométricos: altura de planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco.



#### **3.4.1.2 Medición de variables**

Para las mediciones se tomaron al azar 4 plantas de lechuga de cada tratamiento (T1: control, T2: sustrato tierra, T3: 176.67 g/100 L de solución nutritiva), cada 15 días hasta los 60 días, las mismas que sirvieron para determinar cada una de las variables en estudio.

**Altura de planta:** Se procedió a medir la longitud desde el cuello hasta el ápice de cada una de ellas, expresándose los resultados en cm.

**Longitud de raíces:** la medición se hizo desde el cuello de la planta hasta el extremo de las raíces, expresándose los resultados en cm.

**Peso de materia fresca:** La medición se realizó el total de la planta fresca (parte aérea y parte radicular) y se procedió a medir en una balanza de precisión 0.1 gr. a planta completa incluyendo las raíces, expresándose los resultados en gramos.

**Peso seco:** Se realizó a partir en las mismas plantas tomadas para la evaluación de rendimiento de materia fresca, separando los tratamientos para luego las mismas que se colocaron cubiertas con papel periódico en el invernadero. durante dos semanas, para después proceder a pesar, expresando los resultados en gramos.

#### **3.4.1.3. Aplicación de bioestadística**

Los resultados obtenidos de los parámetros biométricos y de biomasa de las plantas con respecto al control, han sido tabulados y previamente analizados mediante promedios, desviación estándar y coeficiente de variación, donde se aplicaron pruebas de análisis de varianza y de Duncan, con un nivel de confianza del 95%.



### **3.4.2. Determinación del efecto de dos concentraciones de solución nutritiva aeropónica sobre la altura de la planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco.**

#### **3.4.2.1. Frecuencia y muestreo**

Las evaluaciones o muestreos de los experimentos del cultivo aeropónico de dos concentraciones , T3; con una solución nutritiva al 176.67 g/100 L. T4; con una doble concentración de Solución Nutritiva que es al 353.34 g/100L para ver el efecto del crecimiento sobre las plántulas, se evaluaron 4 muestras al azar cada 15 días de cada tratamiento hasta los 60 días de instalados los experimentos, determinando el crecimiento sobre la altura de planta, longitud de raíces, peso en materia fresca y peso seco.

#### **3.4.2.2. Variables a evaluar**

Los procedimientos de medición de los parámetros biométricos y de biomasa fueron como los descritos en la sección anterior (3.4.1.2).

#### **3.4.2.3. Aplicación de bioestadística**

Los resultados obtenidos de los parámetros biométricos y biomasa de las plantas con respecto al testigo, han sido tabulados y previamente analizados mediante promedios, desviación estándar y coeficiente de variación, donde se aplicaron pruebas de análisis de varianza y de Duncan, con un nivel de confianza del 95%.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA EN SISTEMAS DE CULTIVO AEROPÓNICO Y CULTIVO EN TIERRA.

Se evaluaron 4 muestras al azar en 3 tratamientos (T1, T2 y T3) a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante realizado al sustrato tierra (T2 tratamiento cultivo en sustrato tierra) y la cama aeropónica (T1 control negativo de cultivo aeropónico sin solución y T3 tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100 L). También se consideró los datos obtenidos del invernadero con una temperatura media de 13.22 °C y una humedad media de 41 % Véase anexo 17 y 18.

##### 4.1.1. Altura de la planta

Los crecimientos de altura promedio en los diferentes tratamientos fueron los siguientes: El cultivo aeropónico ha alcanzado un crecimiento de 39.10 cm de altura seguidamente del sustrato tierra con un promedio de 23.10 cm de altura y con un menor promedio de crecimiento de altura el control negativo con 10.03 cm a los 60 días de evaluación. Véase tabla 5.

**Tabla 5.**

*Crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.*

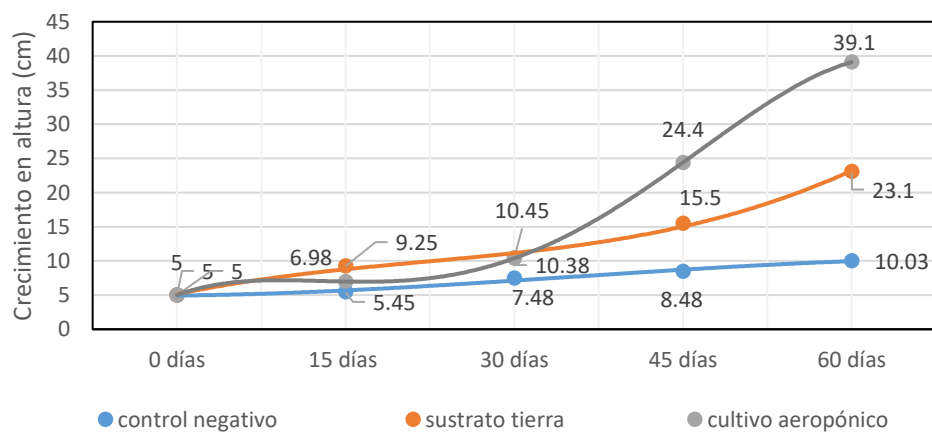
Tratamiento	Altura promedio de la planta (cm)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	5.00	5.45	7.48	8.48	<b>10.03</b>
sustrato tierra**	5.00	9.25	10.45	15.50	<b>23.10</b>
cultivo aeropónico***	5.00	6.98	10.38	24.40	<b>39.10</b>

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento en sustrato tierra.

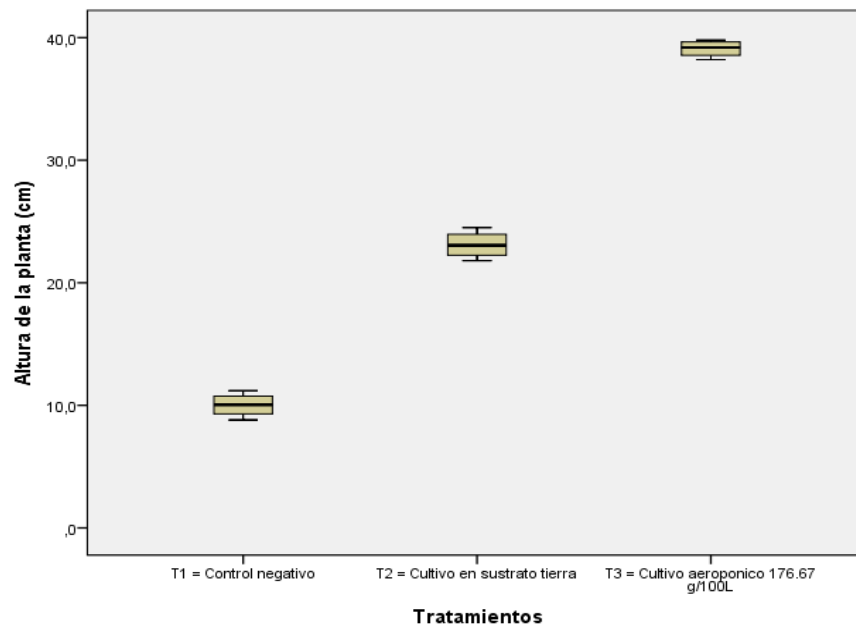
\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100 L.

Las tendencias de las líneas polinómicas entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 4, donde se observan las diferencias de crecimiento hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 4.** crecimiento en altura de plantas de lechuga (cm): control negativo (agua potable sin solución nutritiva); sustrato tierra (tierra de cultivo) y cultivo aeropónico (solución nutritiva hidropónica “La Molina” 176.67 g/100 L).

Según la prueba de ANOVA (anexo 15), las diferencias de medias de longitud de altura a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 907.98$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento de cultivo aeropónico el que mostró mayor crecimiento en altura respecto a los tratamientos con sustrato tierra y control negativo (figura 5), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia en el crecimiento de plántulas de lechuga por efecto de la concentración de solución nutritiva hidropónica en cultivo aeropónico y estimula el desarrollo de crecimiento en altura de plantas de lechuga y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 5.** Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días de realizado el experimento. Puno. julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 6), resultó que el crecimiento en altura del cultivo aeropónico (39.10 cm) con solución nutritiva al 176.67 g/100 L a los 60 días de tratamiento, posee un mejor crecimiento, siendo significativamente mayor que con el sustrato tierra (23.10 cm) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (10.03 cm).

**Tabla 6.***Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 60 días. Puno, julio – diciembre 2019*

Altura de la planta (cm)				
Duncan <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Control negativo	4	10,03		
Cultivo en sustrato tierra	4		23,10	
Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			39,10

En sistemas de cultivo aeropónico, según Granda y Allasi (2013) reportaron a los 45 días un crecimiento de 23.82 cm en la variedad Waldmanns Green, este resultado es similar a los 24.4 cm que se obtuvo en el mismo periodo de tiempo en nuestra investigación. Sin embargo, Solano (2017) también en cultivo aeropónico reportó un crecimiento de 28.2 cm a los 41 días de evaluación para la variedad de lechuga Orejona. Por otra parte Vidal (2018) en sistemas de cultivo hidropónico, utilizando la misma solución nutritiva “La Molina” con lechuga de variedad Romana, a los 39 días de evaluación registro una altura promedio de 26,12 cm, la variación del crecimiento de la altura es debido a la variedad de la lechuga.

Por otra parte, Chávez (2019) en una investigación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en lechuga (*lactuca sativa l.*) a 31 días de evaluación bajo sistema aeropónico *Bacillus subtilis* influyó significativamente en lechuga italiana Kireve (Kr) sobre altura de planta (19.5 cm) y en lechuga italiana Starfighter (Sf) con una altura (23.93 cm). *Azospirillum brasilense* indujo una mayor longitud de raíz en ambas variedades,



mientras que *Rhizobium etli*, indujo mayor altura en Sf (27.93 cm) estos resultados reportados a los 31 días de evaluación son mayores a nuestros resultados obtenidos esto debido a que se utilizó rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal de lechuga.

Gonzáles (2017) nos dice que el sistema hidropónico presenta mejor desarrollo que el sistema aeropónico, debido a la circulación de la solución nutritiva dejando una lámina de agua, aprovechando la raíz para su absorción de los nutrientes. En su investigación se utilizó la lechuga de la variedad “New Red Fire” donde reportó un crecimiento en sistema aeropónico de 9.14 cm de altura de la planta y en sistema hidropónico de 25.64 cm de altura de la planta; esto es debido a que en su solución nutritiva no utilizó micronutrientes como el quelato de hierro, quelato de zinc, quelato de manganeso y quelato de Cobre según Steiner 1968 nos dice que estos micronutrientes en forma iónica son importantes para el crecimiento de plantas. Por otra parte Ocaña (2018), respecto a cultivos hidropónicos reportó un promedio de crecimiento de 19,61 cm de altura para la lechuga de variedad “crispa” a los 40 días después del trasplante, alcanzando en este punto su tamaño de consumo, siendo este reporte similar que obtuvimos en cultivo aeropónico.

#### **4.1.2. Longitud de la raíz**

El cultivo aeropónico ha alcanzado un crecimiento de promedio de 62.98 cm de longitud de raíz, seguidamente el control negativo con 15.28 cm y con un menor promedio de crecimiento de longitud de raíz el sustrato tierra de 12.83 cm de longitud de raíz a los 60 días de evaluación. Véase tabla 7.



**Tabla 7.**

*Crecimiento en longitud (cm) de la raíz de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.*

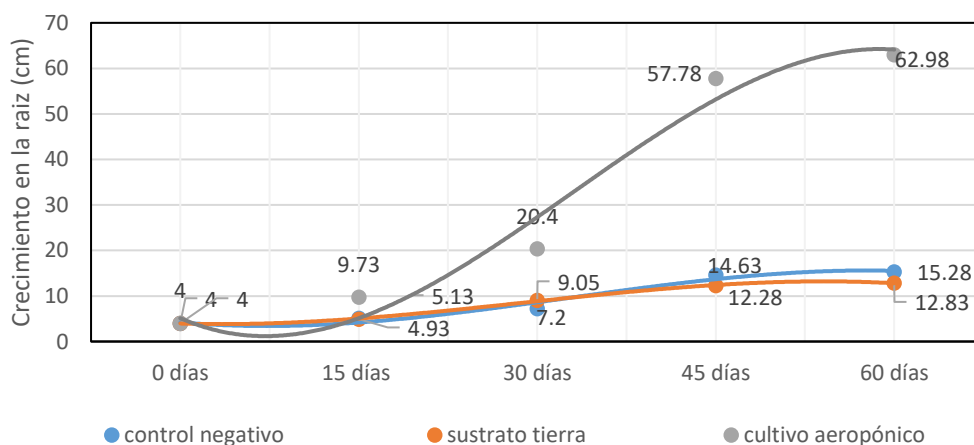
Tratamiento	longitud promedio de la raíz (cm)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	4.00	5.13	7.2	14.63	<b>15.28</b>
sustrato tierra**	4.00	4.93	9.05	12.28	<b>12.83</b>
cultivo aeropónico***	4.00	9.73	20.4	57.78	<b>62.98</b>

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento en sustrato tierra.

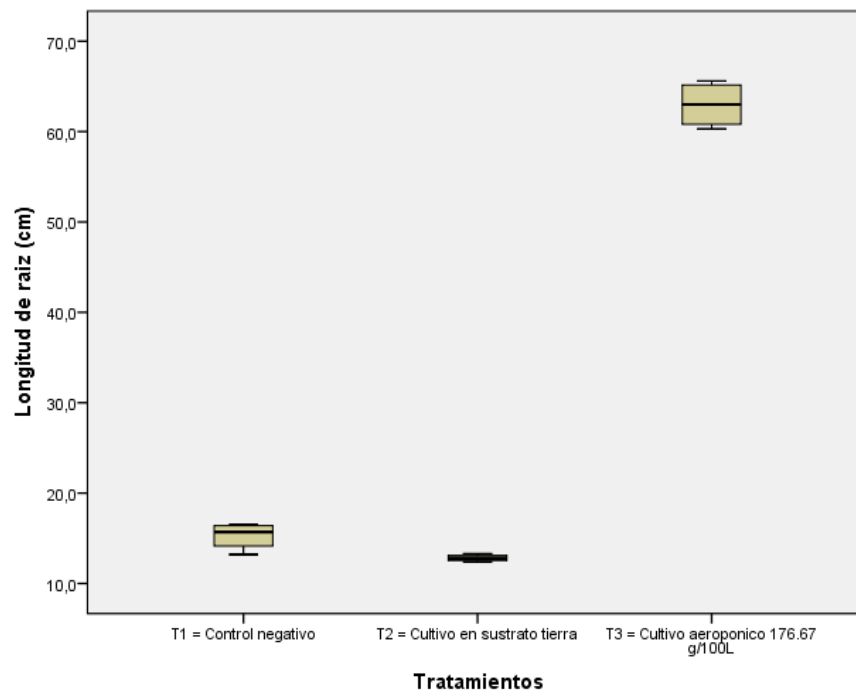
\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 6, donde se observan las diferencias de crecimiento de la longitud de raíz hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 6.** crecimiento en longitud (cm) de la raíz de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 15), las diferencias de medias de longitud de raíz a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 1060.25$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento de cultivo aeropónico el que mostró mayor longitud en la raíz respecto a los tratamientos con sustrato tierra y control negativo (figura 7), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia en el crecimiento de plántulas de lechuga por efecto de la concentración de solución nutritiva hidropónica en cultivo aeropónico y estimula el desarrollo de crecimiento en longitud de la raíz y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 7.** Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 8), resultó que el crecimiento en la raíz del cultivo aeropónico (62.98 cm) con solución nutritiva al 176.67 g/100L a los 60 días de tratamiento, posee un mejor crecimiento, siendo significativamente mayor que con el sustrato tierra (12.83 cm) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (15.28 cm).

**Tabla 8.**

*Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Longitud de raíz (cm)</b>			
Duncan <sup>a</sup>			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Cultivo en sustrato tierra	4	12,83	
Control negativo	4	15,28	
Cultivo aeropónico g/100L	4		62,98

En sistemas de cultivo aeropónico, Granda y Allasi (2013) en su investigación de cultivo aeropónico reportaron a los 45 días 66.50 cm de longitud promedio de la raíz con la misma variedad de lechuga Waldmanns Green, en nuestro caso fue 57.78 cm, la diferencia puede deberse a las condiciones ambientales, fundamentalmente la temperatura y humedad que en nuestra región durante la noche son bajas en comparación a la costa. Sin embargo Solano (2017) en cultivo aeropónico registro 76.5 cm de longitud de raíz a 41 días de evaluación de lechuga variedad Orejona Lulú, este resultado es mayor a nuestra investigación debido a que en su investigación utilizó un termostato para controlar la temperatura de 24 °C de la solución nutritiva.

Por otra parte, en nuestra investigación no se registró presencia de plagas ni enfermedades, no fue necesario realizar controles fitosanitarios coincidiendo con Solano (2017) y Ocaña (2018) debido que el sistema de cultivo aeropónico son ambientes controlados.



El desarrollo de las raíces en cultivo aeropónico es mucho más ventajoso por la oxigenación que existe en ellas concordando con Rodríguez (2017), en cultivo hidropónico menciona que la aeración en el sistema técnica de flujo laminar de nutrientes con aeración pasiva, 1000cc/min y 2000 cc/min de aire que 2000 cc/min tiene un mayor incremento en biomasa y biometría de la lechuga y también Guzmán (2017) nos dice que la mayor oxigenación en las raíces se adapta a la producción intensiva de lechugas y el ambiente del invernadero también favorece el desarrollo de la raíz. La nebulización de 10 minutos (activo) y 20 minutos (desactivado) de la solución nutritiva favoreció altamente el crecimiento de las plántulas de lechuga, sin embargo para Gonzales (2017) el sistema hidropónico presenta mejor desarrollo que el sistema aeropónico, debido a la circulación de la solución nutritiva dejando una lámina de H<sub>2</sub>O aprovechando la raíz para la absorción de los nutrientes donde se registra en el sistema aeropónico es 11.07 cm de largo de la raíz y sistema hidropónico es de 17.46 cm de largo de raíz a los 42 días de evaluación, en nuestra investigación a los 45 días de evaluación registramos 57.78 cm de longitud es mucho mayor a los que se registra en cultivo hidropónico esto podría ser debido a que en su solución nutritiva no utilizó micronutrientes como el quelato de hierro, quelato de zinc, quelato de manganeso y quelato de Cobre que son muy importantes para la absorción de los nutrientes. No solo esta tecnología se puede utilizar en las lechugas sino también como lo afirma Arias (2015) y Solorzano (2015) para producir papas prebásicas, donde se registra mayor número de tubérculos.

#### **4.1.3. Peso fresco**

El cultivo aeropónico ha alcanzado un peso fresco promedio de 256.00 g seguidamente del sustrato tierra con un promedio de 149.43 g y con un menor promedio de peso fresco el control negativo con 45.98 g a los 60 días de evaluación. Véase la tabla 9.

**Tabla 9.**

*Crecimiento en peso (g) fresco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.*

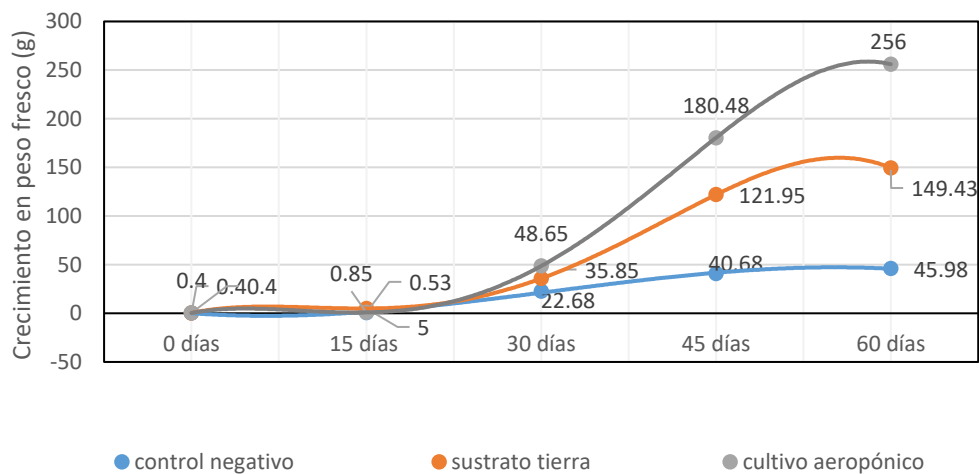
Tratamientos	Promedio de peso fresco (g)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	0.40	0.53	22.68	40.68	<b>45.98</b>
sustrato tierra*	0.40	5.00	35.85	121.95	<b>149.43</b>
cultivo aeropónico*	0.40	0.85	48.65	180.48	<b>256.00</b>

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento en sustrato tierra.

\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

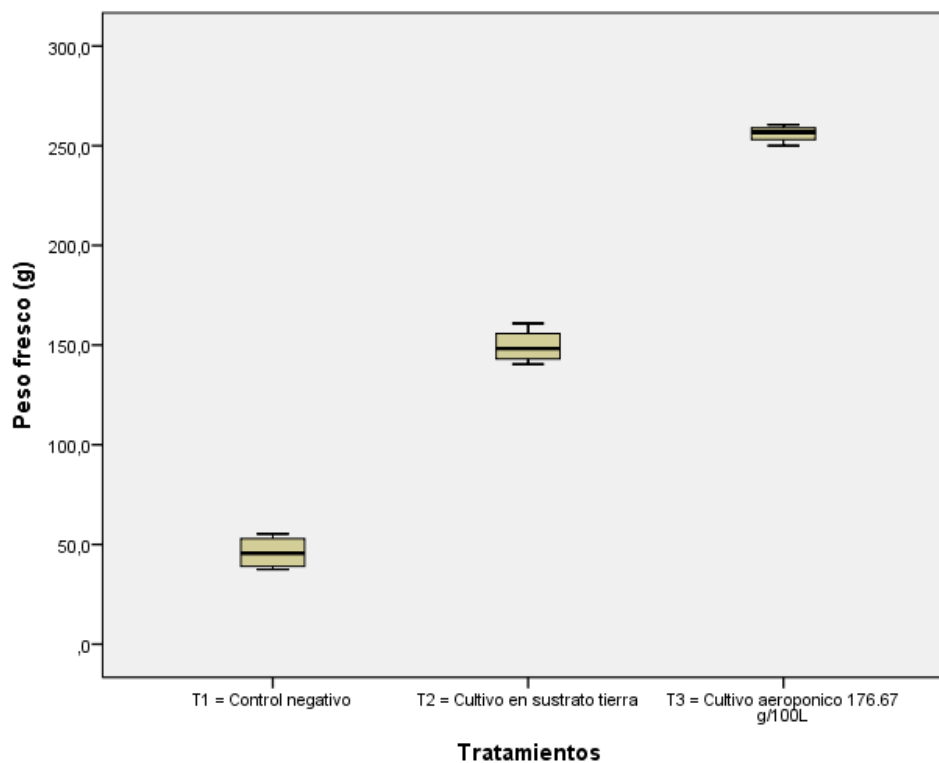
Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 8, donde se observan las diferencias del peso fresco de las plantas de lechuga hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico el que mostró mayor peso fresco.



**Figura 8.** crecimiento en peso (g) fresco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 15), las diferencias de medias en peso fresco de planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente

significativas ( $F = 804.06$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento de cultivo aeropónico el que mostró mayor peso fresco respecto a los tratamientos con sustrato tierra y control negativo (figura 9), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia en el crecimiento de plántulas de lechuga por efecto de la concentración de solución nutritiva hidropónica en cultivo aeropónico y estimula el desarrollo de crecimiento en relación al peso fresco de plantas de lechuga y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 9.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 10), resultó el peso fresco de la lechuga en cultivo aeropónico (256.00 g) con solución nutritiva al 176.67 g/100L a los 60 días de tratamiento, posee significativamente mayor peso fresco que con el sustrato tierra (149.43 g) y éste del mismo modo mayor que el control negativo (45.98 g).

**Tabla 10.**

*Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Peso fresco (g)</b>				
Duncan <sup>a</sup>				
		Subconjunto para alfa = 0.05		
Tratamientos	N	1	2	3
Control negativo	4	45,98		
Cultivo en sustrato tierra	4		149,43	
Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			256,00

El mayor promedio de peso fresco a los 60 días de evaluación es el que se obtuvo con el cultivo aeropónico con 256.00 g y a los 45 días de evaluación reportamos 180.48 g de peso fresco, sin embargo Granda y Allasi (2013) en cultivo aeropónico reportaron 236.20 g de peso fresco a 45 días de evaluación sin embargo Solano (2017) reportó 278 g de peso fresco durante 41 días con la variedad de lechuga orejona Lulú en el sistema de cultivo aeropónico por otro parte Ocaña (2018) en el sistema de cultivo hidropónico reporta a 40 días de evaluación 229.66 g de peso fresco de lechuga variedad crispera, Choque (2015) con la variedad de lechuga Waldmans Green a los 30 días de evaluación reportó 138.40 g de peso fresco, Anco (2018) reporta 104.90 g/planta de peso fresco, y Carreon (2015) registro 329.70 g de peso/planta con aeración y sin aeración 238.26 g/planta de peso fresco a 36 días de evaluación de la lechuga tipo orejona variedad lulú. Entonces podemos decir que la oxigenación de las raíces de las lechugas en cultivo hidropónico incrementa su masa. Estos reportes son mayores a nuestro reporte de peso fresco debido a que podría ser los factores del medio ambiente como la temperatura y humedad donde se registra

más bajos en la sierra (Región Puno 3827msnm) que en la costa también tomando en cuenta la variedad de lechuga, por lo cual esto afecta el crecimiento respecto al peso fresco de la lechuga.

#### 4.1.4. Peso seco

El cultivo aeropónico ha alcanzado un peso seco promedio de 96.88 g seguidamente del sustrato tierra con un promedio de 47.58 g y con un menor promedio de peso seco el control negativo con 13.10 g a los 60 días de evaluación. Véase la tabla 11.

**Tabla 11.**

*Crecimiento en peso (g) seco de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.*

Tratamientos	promedio de peso seco (g)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	0.10	0.2	5.18	9.45	<b>13.10</b>
sustrato tierra*	0.10	2.15	13.08	42.00	<b>47.58</b>
cultivo aeropónico*	0.10	0.23	21.93	60.68	<b>96.88</b>

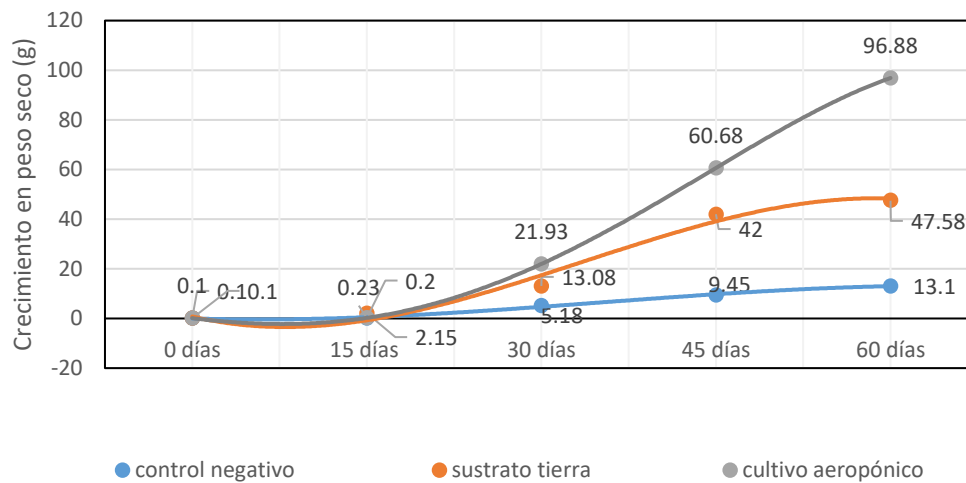
\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento en sustrato tierra.

\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

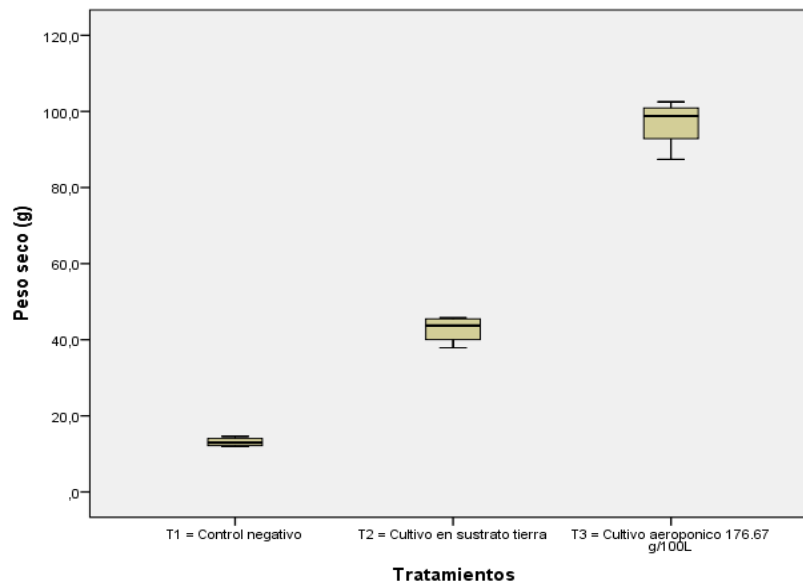
Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 10, donde se observan las diferencias del peso seco de las plantas de lechuga hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico el que mostró mayor peso seco.





**Figura 10.** Crecimiento en peso seco (g) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico y sustrato tierra. Puno, julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 15), las diferencias de medias en peso seco de planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 375.90$ ;  $GL = 2$ -,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento de cultivo aeropónico el que mostró mayor peso seco respecto a los tratamientos con sustrato tierra y control negativo (figura 11), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia en el crecimiento de plántulas de lechuga por efecto de la concentración de solución nutritiva hidropónica en cultivo aeropónico y estimula el desarrollo de crecimiento en relación al peso seco de plantas de lechuga y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 11.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 12), resultó el peso fresco de la lechuga del cultivo aeropónico (96.88 g) con solución nutritiva al 176.67 g/100L a los 60 días de tratamiento, posee un mejor peso fresco, siendo significativamente mayor que con el sustrato tierra (47.58 g) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (13.10 g).

**Tabla 12.**

*Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados de evaluación. Puno, julio- diciembre 2019.*

Peso seco (g)				
Duncan				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	13,10		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		47.58	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			96,88



El mayor promedio sobre el peso seco a los 60 días es la que se alcanzó en el cultivo aeropónico con 96.88 g/planta y a los 45 días se registró 60.68 g. Sin embargo, Granda y Allasi (2013) reportaron a los 45 días de evaluación 92.24 gr de peso seco, donde resultó mayor a nuestra investigación, esto podría deberse a los factores de menor temperatura y humedad en la sierra que en la costa ya que Solano (2017) a 24 °C de la solución nutritiva demostró que existe un mayor crecimiento en biometría y biomasa de la lechuga, mientras que Ocaña (2018) en cultivo hidropónico registró a 40 días de evaluación 17.54 g de peso seco de lechuga variedad crispera siendo mayor el resultado obtenido en nuestra investigación debido a que en el sistema hidropónico las raíces el crecimiento son menores que en cultivo aeropónico.

Por otra parte, en cultivo hidropónico con sistema NTF (Espinoza *et al.*, 2018) registro con 32.18 g/planta de peso seco a 35 días de evaluación de la lechuga de variedad Tropicana, siendo mayor el resultado que registramos en nuestra investigación sin embargo no registramos en nuestra investigación algún agente patógeno durante el crecimiento con la solución nutritiva, tal como confirma Miranda (2017) que los agentes patógenos en la solución nutritiva es nula, esto debido a que la solución nutritiva está compuesto por ácido bórico que es un antiséptico y regulador del pH.

#### **4.2. EFECTO DE DOS CONCENTRACIONES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA SOBRE LA ALTURA DE LA PLANTA, LONGITUD DE RAÍCES, PESO EN MATERIA FRESCA Y PESO SECO.**

Se evaluaron 4 muestras al azar en 3 tratamientos (T1, T3 y T4) a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante realizado a la cama aeropónica (T1 control negativo de cultivo aeropónico sin solución, T3 tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y T4 tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34

g/100L), así mismo también se consideró los datos obtenidos del invernadero con temperatura media de 13.22 °C y una humedad media de 41 % véase anexo 17 y 18.

#### 4.2.1. Altura de la planta

El tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L ha alcanzado un crecimiento promedio en altura 39.1 cm, el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L con un promedio de 27.03 cm de altura y con un menor promedio de altura de la plántula de lechuga es el control negativo con 10.03 cm a los 60 días evaluados. Véase tabla 13.

**Tabla 13.**

*Crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019.*

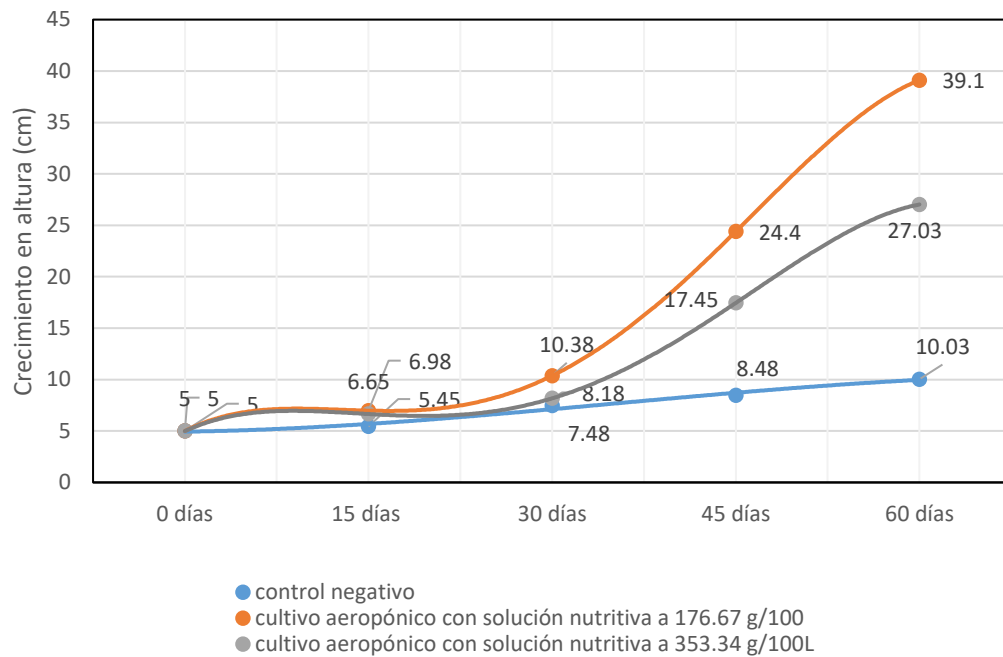
Tratamientos	promedio en altura (cm)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	5.00	5.45	7.48	8.48	<b>10.03</b>
cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100 L*	5.00	6.98	10.38	24.40	<b>39.10</b>
cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L*	5.00	6.65	8.18	17.45	<b>27.03</b>

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

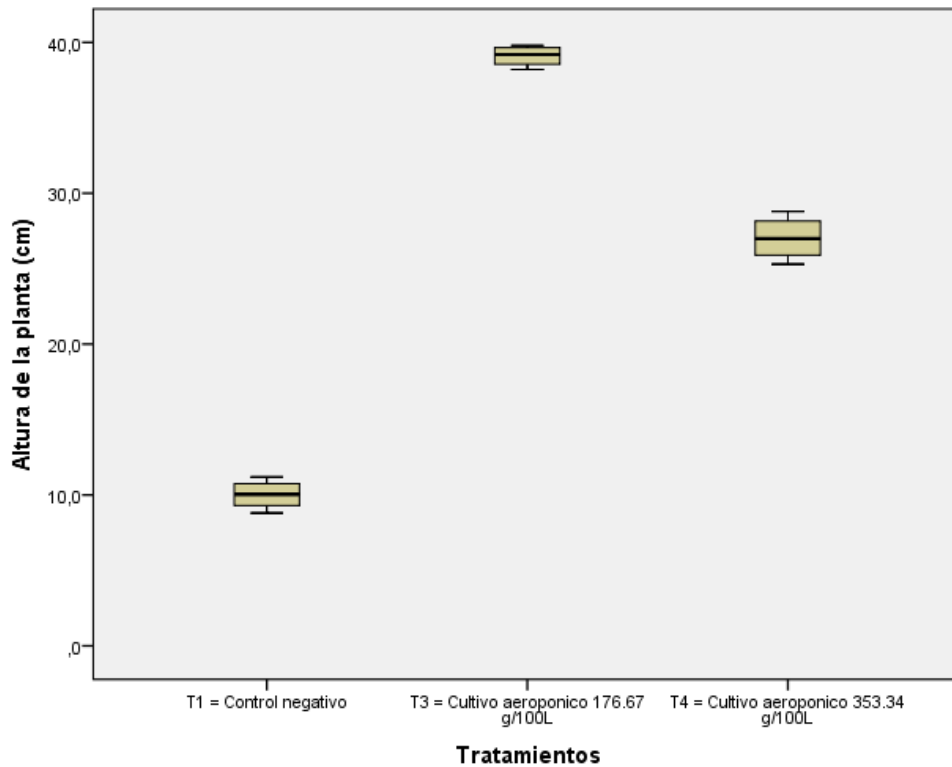
\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 12, donde se observan las diferencias de crecimiento hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 12.** crecimiento en altura (cm) de plántulas de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 16), las diferencias de medias en la altura de planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 689.80$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor altura respecto al tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L y control negativo (figura 13), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia de crecimiento de altura de las plantas de lechuga en diferentes concentraciones de solución nutritiva y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 13.** Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 14), resultó la altura de lechuga del cultivo aeropónico con solución nutritiva al 176.67 g/100L (39.10 cm) a los 60 días de evaluación posee un mejor crecimiento, siendo significativamente mayor que con el tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L (27.03 cm) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (10.03 cm).

**Tabla 14.**

*Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Altura de la planta (cm)</b>				
Duncan <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	10,03		
T4 = Cultivo aerónico 353.34 g/100L	4		27,03	
T3 = Cultivo aerónico 176.67 g/100L	4			39,10

La altura de plantas de lechuga a 45 días de evaluación en cultivo aerónico con solución nutritiva al 176.67 g/100 L con 24.40 cm sin embargo en el cultivo aerónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L se reporta 17.45 cm de altura, por lo tanto la doble concentración de solución nutritiva es desfavorable en el crecimiento de plantas de lechuga esto debido que una doble concentración de solución nutritiva incrementa su conductividad eléctrica afectando negativamente el crecimiento de las plantas pero Solano (2017) en su investigación de cultivo aerónico de 41 días de evaluación registró 27.30 cm de altura con una solución nutritiva elevado de 25 por ciento, lo cual no mostró efectos significativos en el crecimiento de la lechuga de tipo Orejona Lulú esto debido a que su aumento de concentración de solución nutritiva no altero mucho su conductividad eléctrica por otra parte en cultivos hidropónicos, Ocaña (2018) con dosis de potasio (224.33 ppm con una altura de 19.61 cm, y 716.67 ppm con una altura de 16.55cm) donde el crecimiento de mayor concentración de potasio es desfavorable este resultado



coinciden con nuestra investigación ya que el aumento de la concentración de solución nutritiva aumenta su conductividad eléctrica y esto es desfavorable para el crecimiento de las lechugas. Y por otra parte Choque (2016) en cultivo hidropónico con el sistema NTF registro una altura 29, 28 cm a los 77 días de evaluación de la lechuga de variedad romana este resultado es menor a nuestro resultados obtenidos por lo tanto podemos decir que el sistema de cultivo aeropónico tiene un mejor crecimiento en altura de la planta esto se debe a la mejor oxigenación de las raíces suspendidas en el aire.

#### **4.2.2. Longitud de la raíz**

El tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L ha alcanzado un crecimiento promedio 62.98 cm de longitud de raíz, el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L con un promedio de 40.8 cm de longitud de raíz y con un menor promedio de longitud de raíz de lechuga es el tratamiento control negativo con 15.28 cm a los 60 días evaluados. Véase tabla 15.



**Tabla 15.**

*Crecimiento en longitud (cm) de la raíz de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019.*

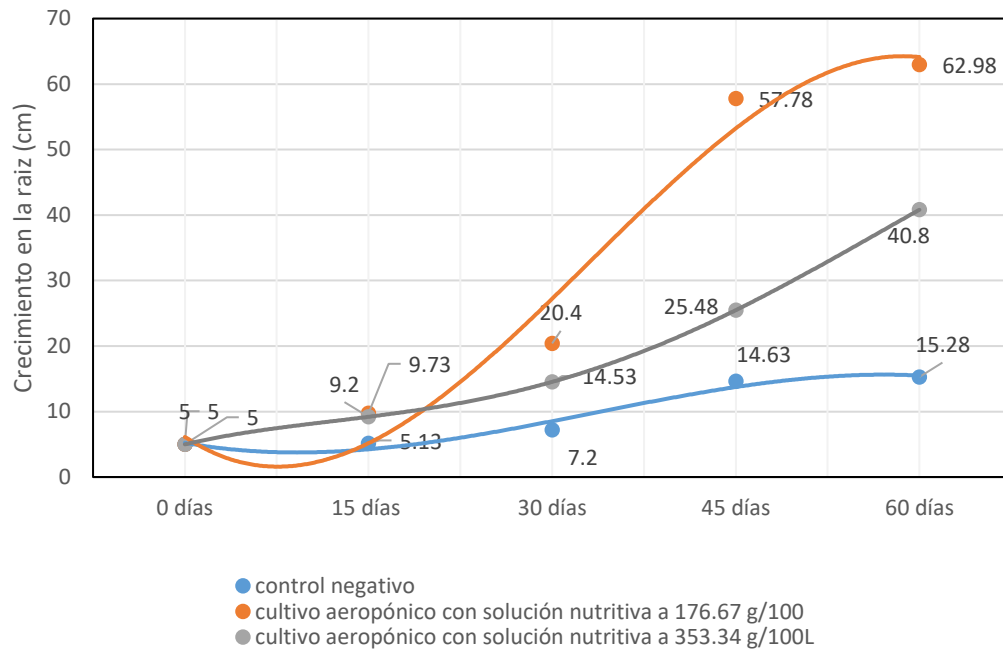
Tratamientos	promedio de longitud de raíz (cm)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	5.00	5.13	7.2	14.63	15.28
cultivo aeropónico con					
solución nutritiva a 176.67 g/100 L*	5.00	9.73	20.4	57.78	62.98
cultivo aeropónico con					
solución nutritiva a 353.34 g/100 L*	5.00	9.2	14.53	25.48	40.80

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

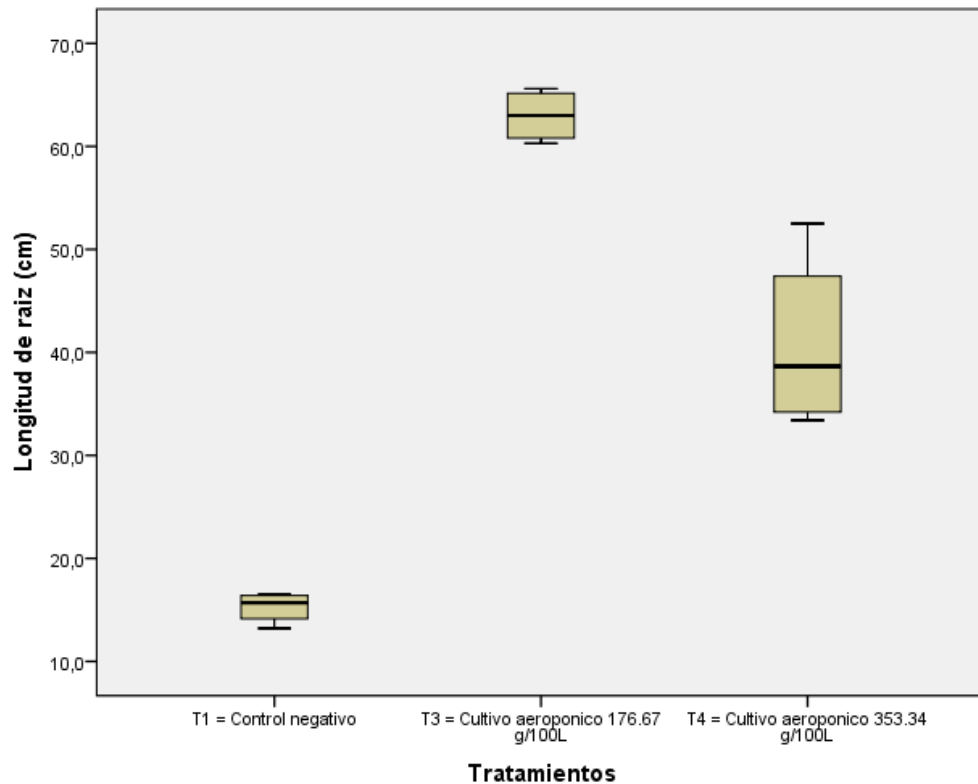
\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 14, donde se observan las diferencias de crecimiento respecto a la longitud de la raíz hasta los 60 días de evaluación, siendo el cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 14.** Crecimiento en longitud (cm) de la raíz de lechuga en cultivo aerónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019

Según la prueba de ANOVA (anexo 16), las diferencias de medias de longitud de raíz en planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 80.67$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento cultivo aerónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor longitud respecto al tratamiento de cultivo aerónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L y control negativo (figura 15), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia de crecimiento en longitud de raíz de plantas de lechuga en diferentes concentraciones de solución nutritiva y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 15.** Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 16), resultó la longitud de la raíz en lechugas del cultivo aeropónico con solución nutritiva al 176.67 g/100L (62.98 cm) a los 60 días de evaluación posee un mejor crecimiento, siendo significativamente mayor que con el tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L (40.80 cm) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (15.28 cm).

**Tabla 16.**

*Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 60 días de evaluación. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Longitud de raíz (cm)</b>				
Duncan <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	15,28		
T4 = Cultivo aerónico 353.34 g/100L	4		40,80	
T3 = Cultivo aerónico 176.67 g/100L	4			62,98

El mayor promedio encontrado es el cultivo aerónico con solución nutritiva 176.67 g/100L con 62.9 cm de longitud de la raíz a los 60 días de evaluación y a 45 días de evaluación se registró 57.78 cm de longitud, sin embargo (Granda & Allasi, 2013) encontró en cultivo aerónico a los 45 días 66.50 cm de longitud promedio de la raíz de la misma variedad de lechuga Waldmanns green siendo mayor a los resultados que obtuvimos esto debido a que la temperatura y humedad en la sierra son bajos que en la costa, estos parametros influyeron el crecimiento de las raices de lechugas. Por otra parte en nuestra invesigacion registramos 25.48 cm a 45 días de evaluación siendo desfavorale el crecimiento de la raíz en el tratamiento de doble concentracion con solucion nutritiva 353.34 g/100L frente a cultivo aerónico con solución nutritiva 176.67 g/100L esto debido a que una sobre concentración aumenta la conductividad eléctrica de la solución nutritiva siendo desfavorable para la absorción de los nutrientes, así como lo afirma Ocaña (2018) que en su investigación obtuvo menor crecimiento en una sobre concentración de potasio desfavoreciendo el crecimiento de la raíz.



Por otra parte, Chávez (2019) en una investigación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en lechuga (*lactuca sativa l.*) a 31 días de evaluación bajo sistema aeropónico *A. brasilense* indujo la mayor longitud de raíz en variedades de lechuga, con promedios de 40.07 cm en Starfighter (Sf) y 32.14 cm en Kireve (Kr). Así mismo, *B. subtilis* promovió una mayor longitud de raíz en la variedad Kireve (Kr) con un promedio de 30.71 cm de longitud de raíz. Estos resultados reportados a los 31 días de evaluación son mayores a nuestros resultados obtenidos esto debido a que se utilizó rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal de lechuga.

Rodríguez (2017) nos dice que la oxigenación en el sistema técnica de flujo laminar de nutrientes con oxigenación pasiva tiene un mayor incremento en biomasa y biometría de la lechuga (*L. sativa L.*) y también Guzmán (2017) nos argumenta que donde existe mayor oxigenación a las raíces se adapta a la producción intensiva de lechugas y el ambiente del invernadero también favorece el desarrollo de la raíz, coincidimos estos argumentos ya que en nuestra investigación en el sistema aeropónico tiene una mejor oxigenación y el crecimiento en la raíz tuvo un mayor incremento siendo así esta tecnología puede ser una alternativa para los agricultores con mayor producción de lechuga así como lo afirma Cardiel (2017) que los beneficios de esta tecnología de cultivo aeropónico incrementa y garantiza la cantidad de tonelada por hectárea.

#### **4.2.3. Peso fresco**

El tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva 176.67 g/100L ha alcanzado un crecimiento promedio 256.00 g de peso fresco seguidamente el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva 353.34 g/100L con un promedio de 151 g de peso fresco y con un menor promedio de peso fresco de lechuga es el tratamiento control negativo con 45.98 g a los 60 días evaluados. Véase tabla 17.

**Tabla 17.**

*Crecimiento en peso (g) fresco de lechuga en cultivo aerónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019.*

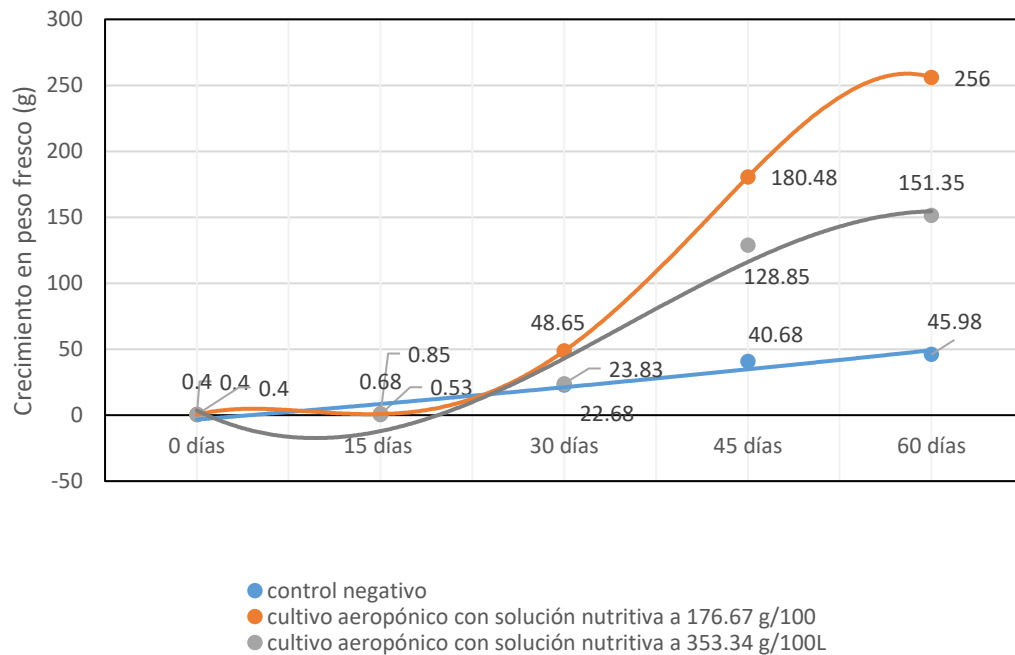
Tratamientos	promedio de peso fresco (g)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	0.40	0.53	22.68	40.68	<b>45.98</b>
cultivo aerónico con solución nutritiva a 176.67 g/100 L*	0.40	0.85	48.65	180.48	<b>256.00</b>
cultivo aerónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L*	0.40	0.68	23.83	128.85	<b>151.35</b>

\* Crecimiento aerónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento aerónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

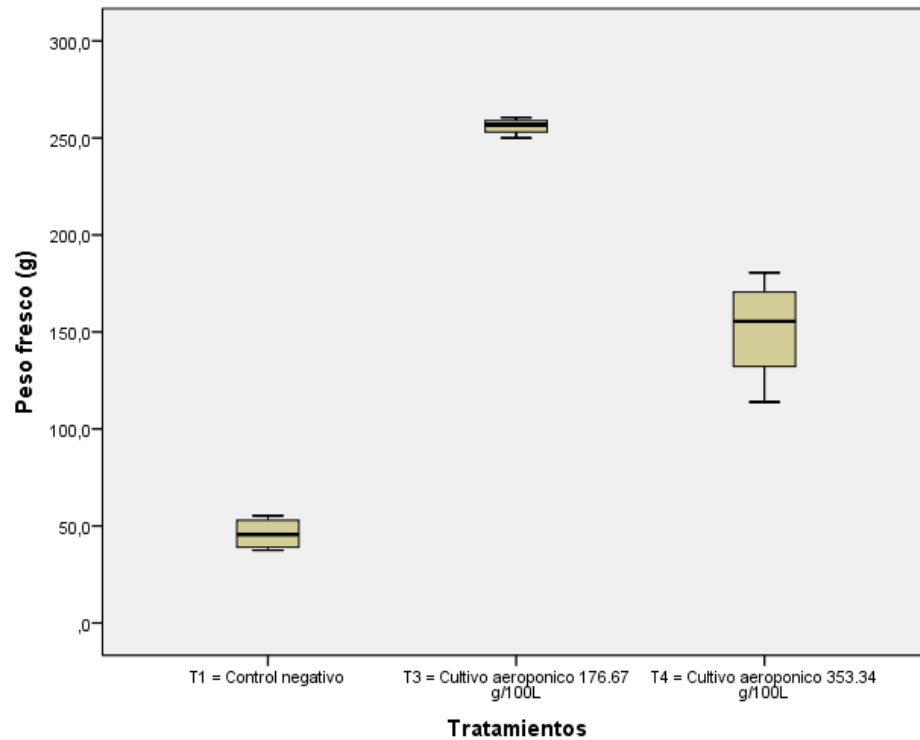
\*\*\* Crecimiento aerónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 16, donde se observan las diferencias de crecimiento respecto al peso fresco hasta los 60 días de evaluación, siendo el aerónico con solución nutritiva 176.67 g/100L el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 16.** crecimiento en peso (g) fresco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 16), las diferencias de medias del peso fresco en planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas ( $F = 152.40$ ,  $GL = 2$ ,  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor peso fresco respecto al tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L y control negativo (figura 17), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia de crecimiento en referencia al peso en materia fresca de las plantas de lechuga en diferentes concentraciones de solución nutritiva y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 17.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 18), resultó el peso fresco en lechugas del cultivo aeropónico con solución nutritiva al 176.67 g/100L (256.00 g) a los 60 días de evaluación posee un mejor crecimiento, siendo significativamente mayor que con el tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L (151.35 g) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (45.98 g).



**Tabla 18.**

*Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días de evaluación. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Peso fresco (g)</b>				
Duncan <sup>a</sup>				
		Subconjunto para alfa = 0.05		
Tratamientos	N	1	2	3
T1 = Control negativo	4	45,98		
T4 = Cultivo aerónico 353.34 g/100L	4		151,35	
T3 = Cultivo aerónico 176.67 g/100L	4			256,00

En cultivo aerónico Granda y Allasi (2013) registró a 45 días de evaluación 236.20 g de peso fresco y también realizó un monitoreo permanente durante todo el ciclo del cultivo de plagas y enfermedades no se reportó no fue necesario realizar controles fitosanitarios sin embargo Solano (2017) registro 278.00 g de peso fresco a 41 días de evaluación de lechuga de tipo Orejona Lulú, por otro lado en sistema de cultivo hidropónicos Ocaña (2018) registró 229.66 g de peso fresco de lechuga variedad crispa a 40 días de evaluación, sin embargo Choque (2015) reportó 138,40 g promedio de peso fresco de variedad Waldmans Green a los 30 días de evaluación y Anco (2018) registró 104.90 g/planta de peso fresco, estos resultados son mayores a nuestra investigación donde nosotros registramos 180.48 g de peso fresco a los 45 días y 48.65 g a 30 días de evaluación, pero sin embargo en nuestra investigación a 60 días de evaluación registramos 256.00 g de peso fresco esto debido a que nuestra investigación se realizó a 3827 msnm (sierra) donde la temperatura, humedad, variedad de lechuga y la región



del cultivo de lechuga influye mucho en el crecimiento. Sin embargo Choque (2016) en Bolivia Alto la Paz a 4012 msnm registró un promedio de 238 g/planta a los 77 días de evaluación en sistema de cultivo hidropónico en condiciones de invernadero este resultado es menor al resultado que registramos en nuestra investigación podemos decir que los factores ambientales del invernadero y en el lugar donde se encuentra si afecta el crecimiento de las plantas de lechuga.

Por otra parte en el cultivo hidropónico, Molina (2015) registró un mayor peso fresco total de 25.7 g/planta con solución química, 19.8 g/planta con solución orgánica y 17.8 g/planta con agua de 15 días de evaluación de la lechuga variedad escarola, donde la solución química como la mejor en peso fresco total, seguida de la solución orgánica y por última la solución sólo con agua. Estos resultados son mayores a los resultados obtenidos de 15 días de evaluación debido a la temperatura de nuestro invernadero, mínima de 1.6 °C, máxima de 32 °C lo cual esto influye la adaptación de las plántulas de lechuga durante los primeros 15 días.

#### **4.2.4. Peso seco**

El cultivo aeropónico con solución nutritiva al 176.67 g/100L ha alcanzado un crecimiento promedio 96.88 g de peso seco, cultivo aeropónico con solución nutritiva al 353.34 g/100L con un promedio de 71.8 g de peso seco y con un menor promedio de peso seco de lechuga es el tratamiento control negativo con 13.10 g a los 60 días evaluados. Véase tabla 19.

**Tabla 19.**

*Crecimiento en peso (g) seco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno, julio – diciembre 2019.*

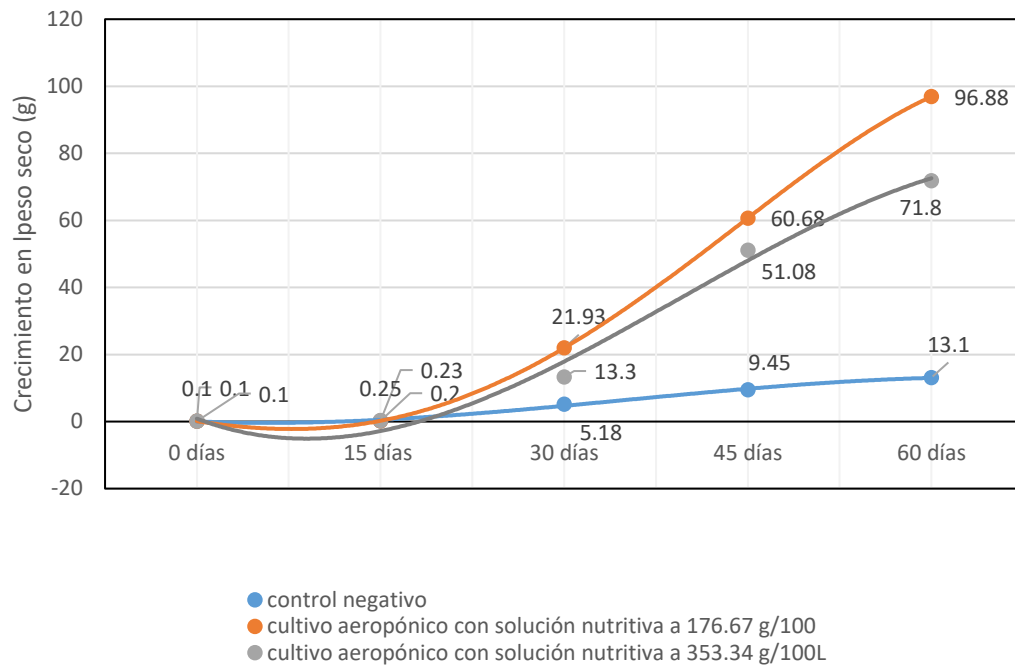
Tratamientos	promedio de peso seco (g)				
	0 días	15 días	30 días	45 días	60 días
control negativo*	0.10	0.2	5.18	9.45	<b>13.10</b>
cultivo aeropónico con					
solución nutritiva a 176.67 g/100 L**	0.10	0.23	21.93	60.68	<b>96.88</b>
cultivo aeropónico con					
solución nutritiva a 353.34 g/100 L***	0.10	0.25	13.3	51.08	<b>71.80</b>

\* Crecimiento aeropónico sin solución nutritiva.

\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

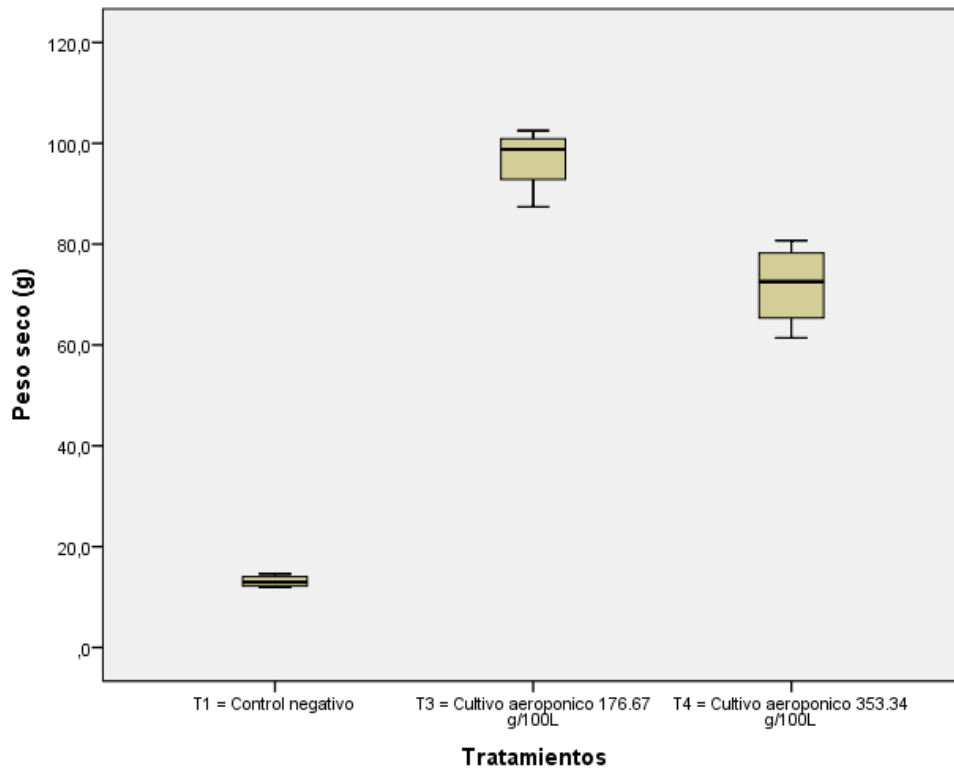
\*\*\* Crecimiento aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

Las tendencias de la línea polinómica entre los diferentes tratamientos se muestran en la figura 18, donde se observan las diferencias de peso seco de la lechuga hasta los 60 días de evaluación, siendo el aeropónico con solución nutritiva 176.67 g/100L el que mostró mayor crecimiento.



**Figura 18.** Crecimiento en peso (g) seco de lechuga en cultivo aeropónico de dos concentraciones de solución nutritiva. Puno julio – diciembre 2019.

Según la prueba de ANOVA (anexo 16), las diferencias de medias del peso fresco en planta de lechuga a los 60 días de evaluación de bioensayos, fueron estadísticamente significativas (estadístico  $F = 193.88$ ,  $GL = 2$ , con el valor de  $P = 0.0001$ ), siendo el tratamiento cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L el que mostró mayor peso seco respecto al tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L y control negativo (figura 19), por el cual se acepta la hipótesis alterna que existe diferencia de crecimiento en referencia al peso en materia seca de las plantas de lechuga en diferentes concentraciones de solución nutritiva y se rechaza la hipótesis nula.



**Figura 19.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 60 días realizado el experimento. Julio - diciembre 2019.

Tomando en cuenta la prueba estadística de Duncan (Tabla 20), resultó mejor el peso seco en lechugas del cultivo aeropónico con solución nutritiva al 176.67 g/100L (96.88 g) a los 60 días de evaluación, siendo significativamente mayor que con el tratamiento de cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L (71.80 g) y éste a su vez significativamente mayor que el control negativo (13.10 g).

**Tabla 20.**

*Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno, julio-diciembre 2019.*

<b>Peso seco (g)</b>				
Duncan <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	13,10		
T4 = Cultivo aerónico 353.34 g/100L	4		71,80	
T3 = Cultivo aerónico 176.67 g/100L	4			96,88

El mayor promedio registramos es el cultivo aerónico con solución nutritiva 176.67 g/100 L con 96.88 g de peso seco a 60 días de evaluación seguidamente el cultivo aerónico con solución nutritiva 353.34 g/100 L con 71.80 g de peso seco, la sobre concentración de solución nutritiva es desfavorables para el cultivo aerónico debido a que aumenta su conductividad eléctrica esto afecta la absorción de los nutrientes. Sin embargo Ocaña (2018) reportó 17.54 g de peso seco en sistema de cultivo hidropónico de lechuga variedad crisca a 40 días después del trasplante este resultado es menor a nuestros resultados registrados lo cual podemos decir que el sistema de cultivo aerónico obtiene mayor peso seco de la lechuga que en el cultivo hidropónico esto debido a que en el cultivo aerónico las raíces están suspendidas en el aire por lo cual tienen un crecimiento mayor en longitud y masa. Por otra parte en el cultivo hidropónico, Molina (2015) registró un mayor peso seco total de 1.4 g/planta con solución química, 1.2 g/planta con solución orgánica y 1.1 g/planta con agua a 15 días de evaluación de la



lechuga variedad escarola, donde la solución química es mejor en peso seco total, seguida de la solución orgánica y por última la solución sólo con agua. Estos resultados son mayores a los resultados obtenidos de 15 días de evaluación debido a la temperatura de nuestro invernadero, mínima de 1.6 °C, máxima de 32 °C lo cual esto influye la adaptación de las plántulas de lechuga durante los primeros 15 días.

En cuanto a los costos de producción Guzmán (2017) nos dice que al cultivar lechuga hidropónica por el sistema de raíz flotante en un área de 100 m<sup>2</sup> con producción de 3000 lechugas esta tiene una inversión inicial de S/ 6120.00 (no se incluye los costos de la construcción del invernadero) y costo mensual de S/ 1393.90 donde el costo unitario de lechuga es de S/ 0.46 por otra parte Gutierrez (2009) nos dice que el costo de producción de 504 lechugas en un área de 100 m<sup>2</sup> en cultivo de suelos preparados es de S/ 597.00 y el ingreso neto por cosecha S/ 756.00 donde el costo unitario de lechuga es de S/ 0.84. Compartimos estos reportes ya que en el sistema de cultivo aeropónico tiene un mayor costo inicial de S/. 2 558.00 y un menor costo mensual donde la producción de lechuga sería una mayor cantidad, sin embargo nuestra investigación del cultivo aeropónico de lechuga el costo unitario es de S/ 1.50 esto debido a que nuestro invernadero es pequeño (10m<sup>2</sup>).



## V. CONCLUSIONES

El crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*), en sistemas de cultivo aeropónico con solución nutritiva hidropónica “La Molina”, a una concentración de 176.67 g/100 L, es significativamente mayor ( $p = 0,001$ ) que el obtenido en sistemas de cultivo de sustrato tierra, según los parámetros de crecimiento en altura, longitud de raíz, peso fresco y peso seco.

En sistemas de cultivo aeropónico de la lechuga (*Lactuca sativa L.*), el cultivo aeropónico con solución nutritiva hidropónica “La Molina” a una concentración de 176.67 g/100 L, presenta mayor crecimiento ( $p = 0,001$ ) en comparación al cultivo aeropónico con doble concentración de 353.34 g/100 L, de la misma solución nutritiva “La Molina”, según los parámetros evaluados de crecimiento en altura, longitud de raíz, peso fresco y peso seco.





## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar investigaciones con otras hortalizas, vegetales de la región Puno como la quinua, la papa, el haba entre otros y promover esta biotecnología vegetal a los agricultores de la región Puno.

Se recomienda ampliar la investigación en cultivos aeropónicos con inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Se recomienda hacer investigaciones sobre menores concentraciones de solución nutritiva para confirmar si en menores concentraciones de solución nutritiva afecta el crecimiento de plantas de lechuga.

Se recomienda utilizar paneles solares para la fuente de energía de las electrobombas ya que estas electrobombas consumen una energía de 745,7 watts.

Se recomienda investigar sobre los forrajes hidropónicos y/o aeropónicos ya que la región Puno existen ganaderos que tienen el problema de obtener forraje verde.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anco, L. F. M. (2018). Concentracion de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* Var. Waldman) producidas en un sistema hidroponico de raiz flotante utilizando tres soluciones nutritivas, Universidad Nacional de San Agustin Arequipa - Peru. 116 p.
- Aquino, M. A. Z. (2014). Manual de Hidroponia. Primera edición: Universidad Nacional Autónoma de México. 37 p.
- Arias, S. A. (2015). Evaluacion de la produccion de semillas de dos cultivares de papa (*solanum tuberosum* L.) aptos para la agroindustria, en el sistema aeroponico con dos densidades de transplante. Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas Quito - Ecuador. 80 p.
- Bacilo, A. P. (2011). Hidroponia. Gobierno Regional la Libertad, Gerencia Regional de Agricultura Agencia Agraria Trujillo boletin informativo “la voz agraria” Trujillo-Peru. 5 p.
- Beltrano, J., & Gimenez, O. (2015). Cultivo en Hidroponía. 1ra Edicion Editorial de la Universidad de la Plata Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Buenos Aires - Argentina. 181 p.
- Bures, S. (2014). Manejo de Sustratos.1er Curso de Gestion de Viveros Forestales. Barcelona - España. 15 p.
- Cabrera, F. A. V., & Salazar, E. I. E. (2004). Produccion de Hortalizas de Clima Calido. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 348 p.
- Cardiel, E. E. (2017). Aeroponia. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Toraon - Mexico 33 p.
- Carreon, J. C. M. (2015). Peso Fresco y Estado Nutrimental de Lechuga Romana (*Lactuca*



- sativa L.*) en Respuesta a la Aireación y la Concentración de Nitrógeno y Potasio en la Solución Nutritiva, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro división de agronomía departamento de horticultura. Saltillo - Mexico 49 p.
- Chávez, A. G., Huerta, J. H., Hernandez, L. R., & Franco, A. C. G. (2019). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo sistema aeropónico. Revista Mexicana de Fitosanidad. Mexico, 1–10 p.
- Chavez, E. F., Rangel, P. P., & Mendoza, A. B. (2006). Manual para La Preparacion de Soluciones Nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Horticultura. Coahuila-Mexico. 149 p.
- Choque, C. H. (2016). Evaluacion de dos Variedades de Lechuga (*Lactuca ativa L.*) con dos Niveles de cloruro de Potasio (KCl), En Sistema Hidroponico NFT, Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía agronómica. el Alto - La Paz. 120 p.
- Choque, L. I. C. (2015). Comparativo de variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y soluciones nutritivas en cultivo hidroponico, en sistema NFT tipo piramidal, bajo condiciones de invernadero en Arequipa. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa Facultad de Agronomía. Arequipa-Peru.119 p.
- Dachelet, M. A., Castro, M. C. T., Silvia, G. C., & Gonzales, P. R. (1996). La Empresa de Mediana Escala: La Tecnica de la Solucion Nutritiva Recirculante (“NFT”), Editorial Universidad de Talca-Chile. 62p.
- Duran, J., Martinez, E., & Navas, L. (2000). Cultivo sin Suelo: de la Hidroponia a la Aeroponia, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Departamento de Ingeniera Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. 40–43.
- Espinoza, S. T. L., Peña, A. R., Valqui, N. C. V., & Chavez, J. C. N. (2018).



- Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistema hidropónico NFT recirculante. Rev. de investig. agroproducción sustentable, Chachapoyas, Perú, 2(1), 50–56.
- Fuentes, H. R. (2009). Solución Nutritiva Hidroponicas: Factores y Criterios para su Formulación, II Congreso Internacional Hidroponia. San José-Costa Rica. 28p.
- Gilsanz, J. C. (2007). Hidroponia. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo-Uruguay. 32 p.
- Gómez, C., José, J., Muñoz, B., Rodríguez, H., & Lourdes, M. De. (2015). Calidad del Agua para Riego en la Agricultura Protegida en Tlaxcala. Revista Académica de la FI-UADY, 19-1, pp. 39-50
- Gonzales, J. F. S. (2017). Evaluación del rendimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), En Sistemas Hidroponicos y Aeroponicos Automatizados. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 62 p.
- Granda, L. F. M., & Allasi, A. E. R. (2013). Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) Producidas en un sistema Aeroponico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa. Universidad Católica de Santa María. Arequipa-Peru. 106 p.
- Gutiérrez, H. Z., Pari, P. A., Gutiérrez, D. A., Carrasco, D. B., Fernández, O. O., & Segástegui, J. M. (2009). Producción de hortalizas en biohuertos familiares. 2da. Edición. Dirección Regional Lima. Peru. 50 p.
- Guzman, G. A. R. (2017). Sistema de Producción Hidroponica de Lechuga (*Lactuca sativa L.*). Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Agronomía. Lima-Peru. 64 p.
- Hidalgo, Y. G. (2015). Calidad Del Agua Con Fines De Riego. Revista digital de Medio



Ambiente "Ojeando la agenda" ISSN 1989-6794. N°35

- INATEC. (2018). Manual del Protagonista Cultivos de Hortalizas. 2da Edición Tecnológico Nacional. 108p
- Infoagro. (2013). El cultivo de la lechuga. [En línea] Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>. (Revisado 1 de Diciembre del 2019).
- Maroto Borrego, jv. , Gómez, AM. y Baixauli Soria, c. (1999). La Lechuga y la Escarola. España, Valencia, Mundi Prensa. 242 p..
- Mendoza, J. R. (2010). Manual Hidroponico Cultivo de Lechugas Sistema Raiz Flotante. 16 p.
- Miranda, R. C., Casillas, J. E., Gutierrez, J. L., Herrera, A. L., Mejia, J. A., & Rodriguez, R. de la R. (2017). Agentes fitopatogenos en la solucion nutritiva para el cultivo de jitomate en un sistema hidroponico cerrado. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. VOL. 42 N° 4 241
- Molina, G. S. (2001). Historia de la hidroponia y de la nutricion vegetal, (87).
- Molina, O. M. M. (2015). Evaluación de Tres Sistemas Hidropónicos Utilizando Sustrato Orgánico en Cultivo de Lactuca sativa, Adaptado para Pequeños Productores. [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com) Avda. 13 No. 87-81 Bogotá. 19 p.
- Ocaña, J. C. M. (2018). Evaluacion de tres dosis de potasio en la produccion de lechuga (*Lactuca sativa L.*) var. crispa, bajop el sistema hidroponico en invernadero. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Recursos Naturales Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba - Ecuador. 123 p.
- Otazu, V. (2010). Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía.



- Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 44 p.
- Parris, K. (2011). Impact of Agriculture on Water Pollution in OECD Countries : Recent Trends and Future Prospects, 0627. <https://doi.org/10.1080/07900627.2010.531898>
- Perez, L. A. G., & López, A. Z. (2013). Rendimiento de cinco variedades de lechuga *Lactuca sativa* L. Tipo Gourmet ciclo primavera - verano. Universidad Autonoma de San Luis Potosi, Mexico, 32p.
- Quintero, J. J. (2000). La Lechuga. Ministerio de Agricultura. Madrid - España. 20 p.
- Ramirez, G. A. V., Valecia, B. G., Cardona, M. L. O., Lopez, L. M. D., Alvares, B. E., & Histroza, H. Ga. (2016). Evaluación Comparativa de Lechuga(*Lactuca sativa*.) “Veronica” Bajo Condiciones Controladas En Dos Metodos De Produccion, 36–46.
- Ramón, D., Juan, L., & Rey, C. (2009). Evaluacion de la vulnerabilidad a la degradacion agroambiental a traves del uso del sistema microleis en los suelos de los llanos centrales de Venezuela, 25(1), 43–60.
- Ramos, C. A. ostos. (2008). Diseño y construccion de un prototipo piloto para un sistema de supervision y control semiautomatico en la fertirrigacion de claveles en cultivos hidroponicos. Universidad de La Salle Ciencia Unisalle. Bogota. 138 p.
- Rio, G. S. del, Corradini, F., Antunez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepulveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago - Chile 150 p.
- Rodriguez, M. mendoza. (2017). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) hidroponica en sistemas recirculante “NFT” tipo Piramidal con tres niveles de aireacion. Universidad Ncional San Agustin. Arequipa-Peru. 120 p.
- Rodriguez, W. H. F. (2017). Contaminacion de suelos agricolas por actividades



- socioeconomicas en la ribera del lago Titicaca del centro poblado de Uros-Chulluni, Puno. 142p.
- Silva, V. M. (2017). El cultivo de las hortalizas. 1ra Edicion. Edición y fotografía proyecto jatun sach'a. Bolivia. 28 p.
- Solano, L. C. (2017). Efecto de la temperatura, Concentracion de la Solucion Nutritiva y la Posicion de la Planta en el Crecimiento de la Lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivada en Aeroponia. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo-mexico. 50p.
- Solano, Lk. C. (2017). Efectos de la temperatura, concentracion de la solucion nutritiva y la posicion de la planta en el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivada en aeroponia.
- Solorzano, W. E. A. (2015). Evaluacion de tres sistemas de manejo para minituberculos provenientes del sistema de produccion aeroponico de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) Cutuglanhua, Pichincha. Universidad Central del Ecuador Facultad de ciencias Agrícolas. 112 p.
- Suarez, D. S. (2006). Conductividad Electrica Por El Metodo Electrometrico En Aguas, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia. 7p.
- Vidal, I. M. R. (2018). Respuesta de tres Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) cuatro Soluciones nutrientes, bajo Condiciones Hidroponicas en Invernadero. Automizacion de Proceso Organizacional, Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito-Ecuador. 210p.
- Villareal, O. J. L. R. (2019). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo condiciones del valle del Rimac, Lima. Universidad Agraria La Molina. Lima, 57p.



# ANEXOS





## INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** (a) Construcción de la estructura del invernadero; (b) cubrimiento de la estructura con plástico polietileno; (c) cubrimiento de la estructura con policarbonato. Puno. Julio - diciembre 2019. .... 103
- Anexo 2.** (a) Humus de lombriz, abono de estiércol de oveja y aserrín; (b) Preparación para el cultivo en sustrato tierra. Puno. Julio - diciembre 2019..... 103
- Anexo 3.** (a) semilla de lechuga (*L. sativa* L.) de variedad Waldmanns Green, (b) siembra para el cultivo aeropónico en musgos con vasos descartables y (b) siembra del cultivo sustrato tierra. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 104
- Anexo 4.** (a) y (b) Crecimiento de las plántulas de lechuga a las tres semanas después del sembrío. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 104
- Anexo 5.** (a) Solución nutritiva A; (b) solución nutritiva B; (c) y (d) balanza analítica pesados para la disolución en 100 litros de agua en el Laboratorio de Microbiología UNA-Puno. Julio - diciembre 2019. .... 105
- Anexo 6.** (a) Preparación de la solución nutritiva hidropónica “La Molina”; (b) los dos reservorios de 100L junto; (c) dos electrobombas y (d) timers para el control del bombeo de la SN. Puno, Julio - diciembre 2019..... 105
- Anexo 7.** (a) y (b) Monitoreo del pH y de la conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas. (c) monitoreo de la temperatura y humedad del invernadero. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 106
- Anexo 8.** (a) y (b) Lavado de las plántulas de lechuga para el cultivo aeropónico. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 106
- Anexo 9.** (a) Trasplante de plántulas de lechuga a las camas aeropónicas (b) y (c) trasplante de plántulas al cultivo sustrato. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 107
- Anexo 10.** (a) Plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en sustrato tierra a los 60 días, (b) extracción de la lechuga del cultivo sustrato tierra, (c) plántula de lechuga en cultivo sustrato tierra. Puno, Julio - diciembre 2019..... 107
- Anexo 11.** (a) y (b) Plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en las dos concentraciones de cultivo del sistema aeropónico. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 108
- Anexo 12.** (a) y (b) Raíces de las plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el sistema de cultivo aeropónico. Puno, Julio - diciembre 2019..... 108
- Anexo 13.** (a) Medición biométricas y diferencia de plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el cultivo sustrato tierra, (b) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y (c) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 109
- Anexo 14.** (a) Medición de la masa y diferencia de plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el cultivo sustrato tierra, (b) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y (c) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L. Puno, Julio - diciembre 2019. .... 109
- Anexo 15.** Análisis de varianza del cultivo en sustrato tierra (T2) y cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L. .... 110



<b>Anexo 16.</b> Análisis de varianza del cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L.110	
<b>Anexo 17.</b> Promedios de la temperatura del 1 al día 60 del invernadero. Elaboración propia diciembre 2019. ....	111
<b>Anexo 18.</b> Promedios de la humedad del 1 al día 60 del invernadero. Elaboración propia diciembre 2019. ....	111
<b>Anexo 19.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 15 días.....	111
<b>Anexo 20.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días. ....	112
<b>Anexo 21.</b> Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 15 días. ...	112
<b>Anexo 22.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 30 días. Puno julio – diciembre 2019	113
<b>Anexo 23.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero Puno. Julio - diciembre 2019. ....	113
<b>Anexo 24.</b> Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 30 días. Puno julio – diciembre 2019 .....	114
<b>Anexo 25.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 45 días. Puno julio – diciembre 2019.	114
<b>Anexo 26.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	115
<b>Anexo 27.</b> Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 45 días. Puno julio – diciembre 2019 .....	115
<b>Anexo 28.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 60 días. Puno julio – diciembre 2019.	116
<b>Anexo 29.</b> Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	116
<b>Anexo 30.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	117
<b>Anexo 31.</b> Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.....	117
<b>Anexo 32.</b> Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	118
<b>Anexo 33.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero Puno. Julio - diciembre 2019. ....	118
<b>Anexo 34.</b> Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.....	119
<b>Anexo 35.</b> Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	119
<b>Anexo 36.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	120
<b>Anexo 37.</b> Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.....	120



<b>Anexo 38.</b> Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	121
<b>Anexo 39.</b> Peso fresco (g) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	121
<b>Anexo 40.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	122
<b>Anexo 41.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	122
<b>Anexo 42.</b> Peso fresco (g) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	123
<b>Anexo 43.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	123
<b>Anexo 44.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	124
<b>Anexo 45.</b> Peso fresco (g) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	124
<b>Anexo 46.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	125
<b>Anexo 47.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	125
<b>Anexo 48.</b> Peso fresco (g) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	126
<b>Anexo 49.</b> Peso seco (g) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	126
<b>Anexo 50.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	127
<b>Anexo 51.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	127
<b>Anexo 52.</b> Peso seco (g) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	128
<b>Anexo 53.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	128
<b>Anexo 54.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	129
<b>Anexo 55.</b> Peso seco (g) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	129
<b>Anexo 56.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno Julio - diciembre 2019. ....	130



<b>Anexo 57.</b> Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	130
<b>Anexo 58.</b> Peso seco (g) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	131
<b>Anexo 59.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	131
<b>Anexo 60.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	132
<b>Anexo 61.</b> Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	132
<b>Anexo 62.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	133
<b>Anexo 63.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	133
<b>Anexo 64.</b> Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	134
<b>Anexo 65.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	134
<b>Anexo 66.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	135
<b>Anexo 67.</b> Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	135
<b>Anexo 68.</b> Altura (cm) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	136
<b>Anexo 69.</b> Longitud (cm) de raíz a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	136
<b>Anexo 70.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019. ....	137
<b>Anexo 71.</b> Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	137
<b>Anexo 72.</b> Longitud (cm) de raíz a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	138
<b>Anexo 73.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	138
<b>Anexo 74.</b> Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	139
<b>Anexo 75.</b> Longitud (cm) de raíz a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	139



<b>Anexo 76.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	140
<b>Anexo 77.</b> Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	140
<b>Anexo 78.</b> Longitud (cm) de raíz a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	141
<b>Anexo 79.</b> Peso (g) fresco de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	141
<b>Anexo 80.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - diciembre 2019. ....	142
<b>Anexo 81.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) de la lechuga a los 60 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	142
<b>Anexo 82.</b> Peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	143
<b>Anexo 83.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	143
<b>Anexo 84.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	144
<b>Anexo 85.</b> Peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	144
<b>Anexo 86.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	145
<b>Anexo 87.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	145
<b>Anexo 88.</b> Peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	146
<b>Anexo 89.</b> Peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	146
<b>Anexo 90.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	147
<b>Anexo 91 .</b> Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	147
<b>Anexo 92.</b> Peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	148
<b>Anexo 93.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	148
<b>Anexo 94.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019. ....	149



<b>Anexo 95.</b> Peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	149
<b>Anexo 96.</b> Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019. ....	150
<b>Anexo 97.</b> Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.....	150
<b>Anexo 98.</b> Peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019. ....	151
<b>Anexo 99.</b> Resultados de la muestra de agua llevas al INIA.....	152
<b>Anexo 100.</b> Resultados de las muestras de sustrato tierra llevas al INIA. ....	153
<b>Anexo 101.</b> Resultados de las muestras de sustrato tierra llevas al INIA. ....	153
<b>Anexo 102.</b> Resultados de las muestras de SN1 y SN2 llevas al INIA.....	154



(a)

(b)

(c)

**Anexo 1.** (a) Construcción de la estructura del invernadero; (b) cubrimiento de la estructura con plástico polietileno; (c) cubrimiento de la estructura con policarbonato. Puno. Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

**Anexo 2.** (a) Humus de lombriz, abono de estiércol de oveja y aserrín; (b) Preparación para el cultivo en sustrato tierra. Puno. Julio - diciembre 2019



(a)

(b)

(c)

**Anexo 3.** (a) semilla de lechuga (*L. sativa L.*) de variedad Waldmanns Green, (b) siembra para el cultivo aeropónico en musgos con vasos descartables y (b) siembra del cultivo sustrato tierra. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

**Anexo 4.** (a) y (b) Crecimiento de las plántulas de lechuga a las tres semanas después del sembrío. Puno, Julio - diciembre 2019.





(a)

(b)

(b)

(c)

**Anexo 5.** (a) Solución nutritiva A; (b) solución nutritiva B; (c) y (d) balanza analítica pesados para la disolución en 100 litros de agua en el Laboratorio de Microbiología UNA-Puno. Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

(d)

**Anexo 6.** (a) Preparación de la solución nutritiva hidropónica “La Molina”; (b) los dos reservorios de 100L junto; (c) dos electrobombas y (d) timers para el control del bombeo de la SN. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

**Anexo 7.** (a) y (b) Monitoreo del pH y de la conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.

(c) monitoreo de la temperatura y humedad del invernadero. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

**Anexo 8.** (a) y (b) Lavado de las plántulas de lechuga para el cultivo aeropónico. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

**Anexo 9.** (a) Trasplante de plántulas de lechuga a las camas aeropónicas (b) y (c) trasplante de plántulas al cultivo sustrato. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

**Anexo 10.** (a) Plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en sustrato tierra a los 60 días, (b) extracción de la lechuga del cultivo sustrato tierra, (c) plántula de lechuga en cultivo sustrato tierra. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

**Anexo 11.** (a) y (b) Plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en las dos concentraciones de cultivo del sistema aerónico. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

**Anexo 12.** (a) y (b) Raíces de las plántas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el sistema de cultivo aerónico. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

**Anexo 13.** (a) Medición biométrica y diferencia de plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el cultivo sustrato tierra, (b) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y (c) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L. Puno, Julio - diciembre 2019.



(a)

(b)

(c)

**Anexo 14.** (a) Medición de la masa y diferencia de plantas de lechuga de variedad Waldmanns Green en el cultivo sustrato tierra, (b) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y (c) cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100 L. Puno, Julio - diciembre 2019.

**Anexo 15.** Análisis de varianza del cultivo en sustrato tierra (T2) y cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L.

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura de la planta (cm)	Entre grupos	1696,415	2	848,208	907,983	,000
	Dentro de grupos	8,408	9	,934		
	Total	1704,823	11			
Longitud de raíz (cm)	Entre grupos	6395,087	2	3197,543	1060,252	,000
	Dentro de grupos	27,143	9	3,016		
	Total	6422,229	11			
Peso fresco (g)	Entre grupos	88227,512	2	44113,756	804,058	,000
	Dentro de grupos	493,775	9	54,864		
	Total	88721,287	11			
Peso seco (g)	Entre grupos	14434,222	2	7217,111	375,902	,000
	Dentro de grupos	172,795	9	19,199		
	Total	14607,017	11			

**Anexo 16.** Análisis de varianza del cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L y cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L.

**ANOVA**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura de la planta (cm)	Entre grupos	1706,882	2	853,441	689,804	,000
	Dentro de grupos	11,135	9	1,237		
	Total	1718,017	11			
Longitud de raíz (cm)	Entre grupos	4558,062	2	2279,031	80,672	,000
	Dentro de grupos	254,255	9	28,251		
	Total	4812,317	11			
Peso fresco (g)	Entre grupos	88221,352	2	44110,676	152,408	,000
	Dentro de grupos	2604,818	9	289,424		
	Total	90826,169	11			
Peso seco (g)	Entre grupos	14790,262	2	7395,131	193,879	,000
	Dentro de grupos	343,287	9	38,143		
	Total	15133,549	11			

**Anexo 17.** Promedios de la temperatura del 1 al día 60 del invernadero. Elaboración propia diciembre 2019.

Tiempo (horas)	Promedio (°C)	T °C mínima	T °C máxima
06:00	5.36	1.6	10.6
12:00	27.48	13.2	32
18:00	12.58	8.2	15.2
24:00	7.45	6	9

**Anexo 18.** Promedios de la humedad del 1 al día 60 del invernadero. Elaboración propia diciembre 2019.

Tiempo (horas)	Promedio (%)	Mínima (%)	Máxima (%)
06:00	49	39	72
12:00	31	20	68
18:00	36	27	60
24:00	48	33	66

**Anexo 19.** Altura (cm) de la lechuga a los 15 días.

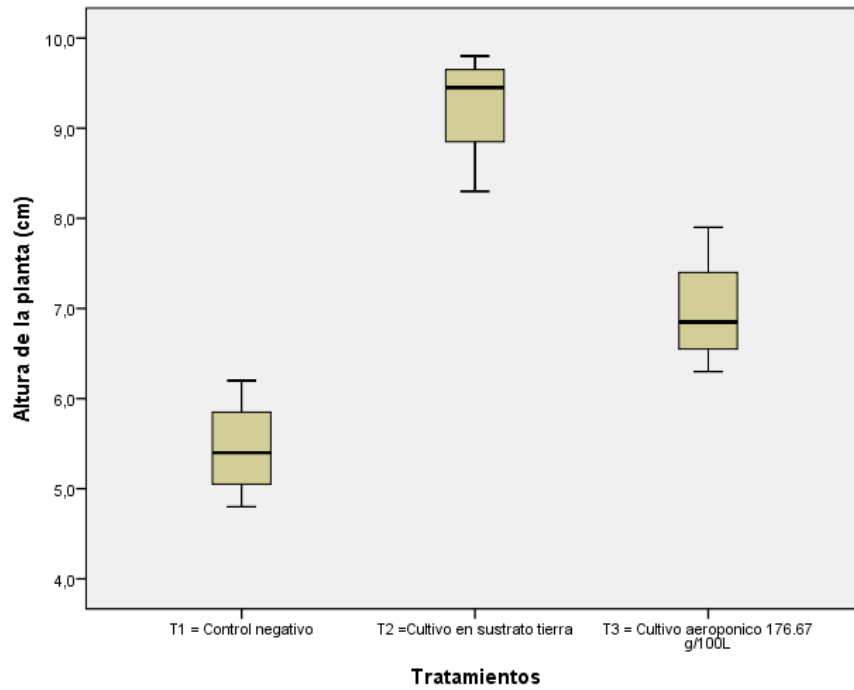
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	5.3	6.2	4.8	5.5	5.45	0.58	10.65	4.8	6.2
(T2)	8.3	9.4	9.8	9.5	9.25	0.66	7.09	8.3	9.8
(T3)	6.9	6.8	7.9	6.3	6.98	0.67	9.61	6.3	7.9

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aerónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aerónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 20.** Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días.

**Anexo 21.** Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 15 días.

Duncan

	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	5,45		
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		6,98	
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4			9,25



**Anexo 22.** Altura (cm) de la lechuga a los 30 días. Puno julio – diciembre 2019

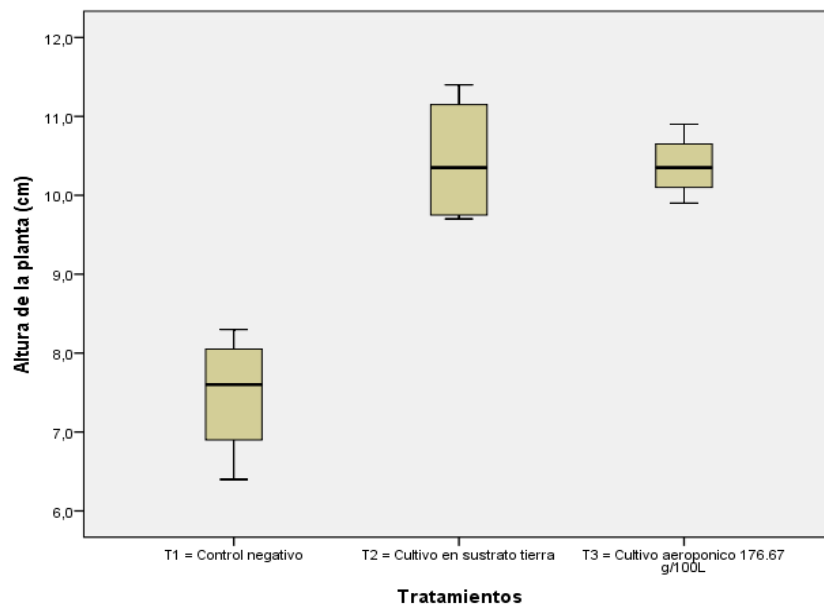
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V. (%)		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		Mínimo	Máximo		
(T1)	6.4	7.8	7.4	8.3	7.48	0.81	10.77	6.4	8.3
(T2)	11.4	10.9	9.7	9.8	10.45	0.83	7.99	9.7	11.4
(T3)	10.4	10.9	9.9	10	10.38	0.41	3.96	9.9	10.9

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 23.** Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga

a los 30 días realizado el experimento en el invernadero Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 24.** Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 30 días. Puno julio – diciembre 2019

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	7,48	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		10,38
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		10,45

**Anexo 25.** Altura (cm) de la lechuga a los 45 días. Puno julio – diciembre 2019.

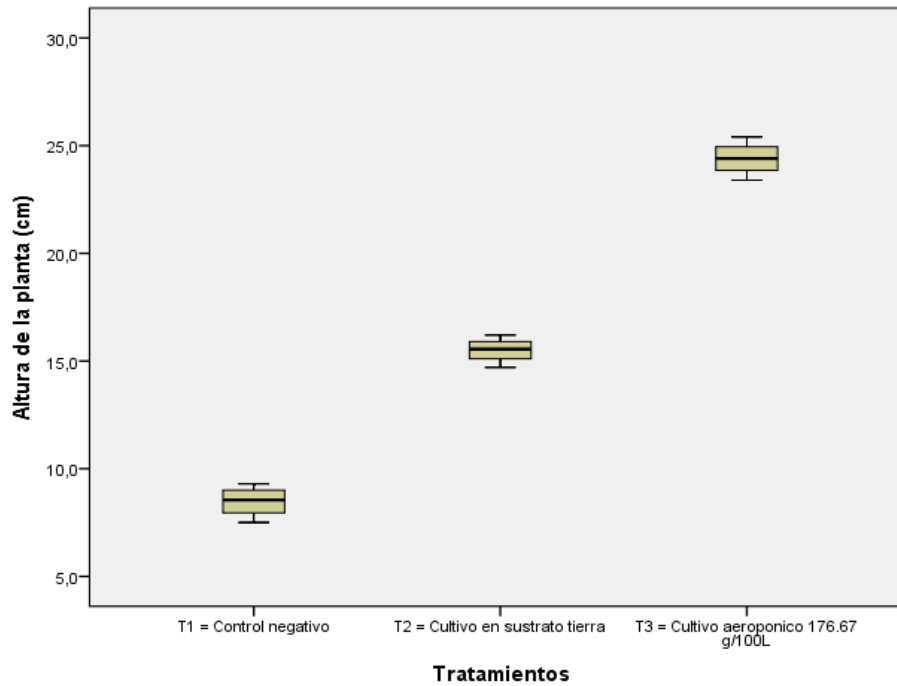
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	9.3	8.4	7.5	8.7	8.48	0.75	8.84	7.5	9.3
(T2)	15.5	14.7	15.6	16.2	15.50	0.62	3.98	14.7	16.2
(T3)	24.5	25.4	23.4	24.3	24.40	0.82	3.36	23.4	25.4

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 26.** Diagrama de cajas simples de comparación de la altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 27.** Prueba de Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 45 días. Puno julio – diciembre 2019

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	8,48		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		15,50	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			24,40



**Anexo 28.** Altura (cm) de la lechuga a los 60 días. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	11.2	10.3	9.8	8.9	10.03	1.00	9.97	8.9	11.2
(T2)	23.4	24.5	22.7	21.8	23.10	1.14	4.94	21.8	24.5
(T3)	38.2	39.5	38.9	39.9	39.10	0.71	1.82	38.2	39.9

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

**Anexo 29.** Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

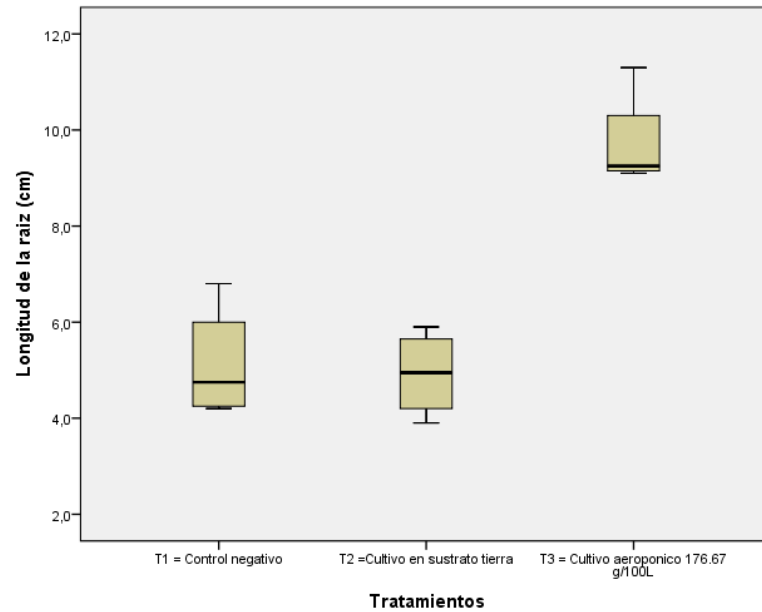
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	4.3	5.2	6.8	4.2	5.13	1.20	23.47	4.2	6.8
(T2)	4.5	3.9	5.4	5.9	4.93	0.90	18.17	3.9	5.9
(T3)	9.1	9.2	11.3	9.3	9.73	1.05	10.82	9.1	11.3

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 30.** Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 31.** Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2 =Cultivo en sustrato tierra	4	4,93	
T1 = Control negativo	4	5,13	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		9,73

**Anexo 32.** Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

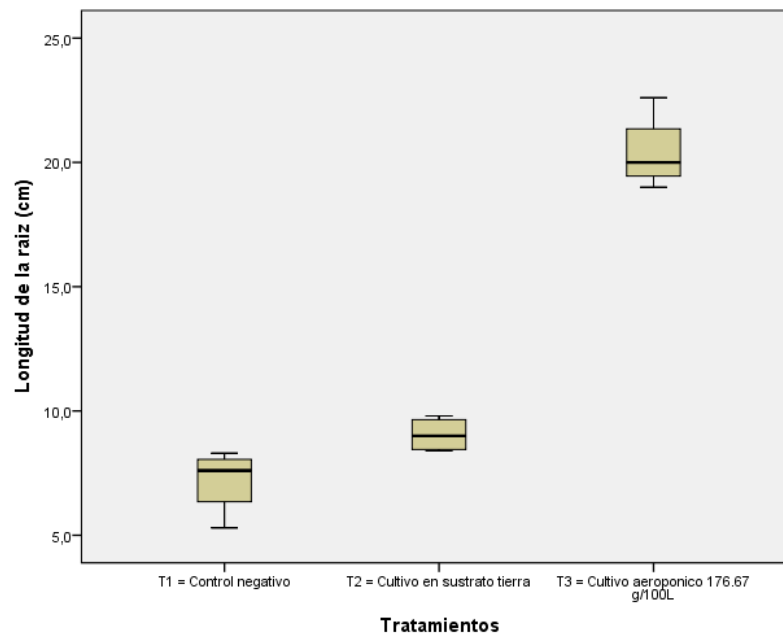
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura Mínimo	Altura Máximo
	R1*	R2*	R3*	R4*					
(T1)	8.3	7.4	5.3	7.8	7.20	1.32	18.32	5.3	8.3
(T2)	8.4	9.8	9.5	8.5	9.05	0.70	7.79	8.4	9.8
(T3)	20.1	19	22.6	19.9	20.40	1.54	7.56	19	22.6

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 33.** Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero Puno. Julio - diciembre 2019.



**Anexo 34.** Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.

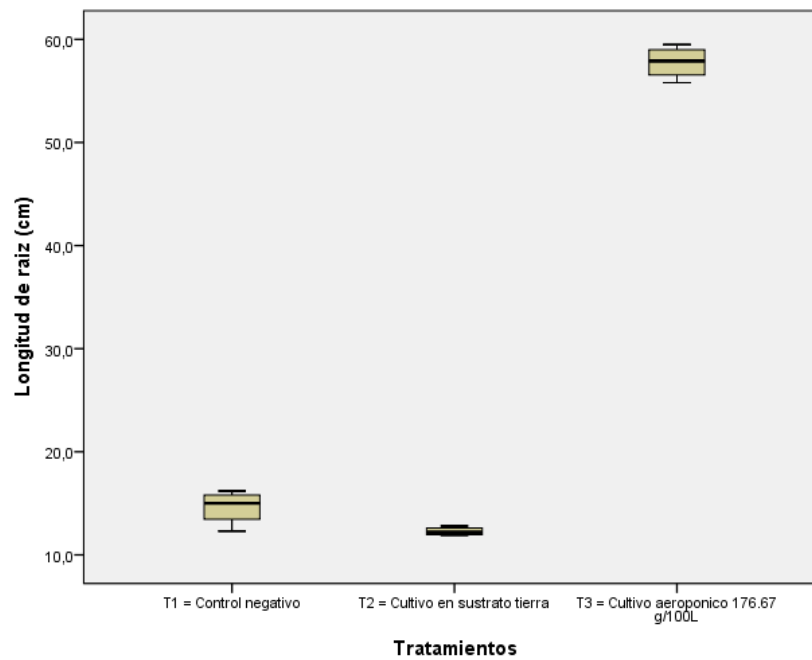
Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	7,20	
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4	9,05	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		20,40

**Anexo 35.** Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura Mínimo	Altura Máximo
	R1*	R2*	R3*	R4*					
(T1)	12.3	15.4	14.6	16.2	14.63	1.68	11.50	12.3	16.2
(T2)	12	12.8	11.9	12.4	12.28	0.41	3.35	11.9	12.8
(T3)	58.5	55.8	57.3	59.5	57.78	1.59	2.76	55.8	59.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento  
 T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva  
 T2: cultivo en sustrato tierra  
 T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 36.** Diagrama de cajas simples de comparación de longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 37.** Prueba Duncan de longitud (cm) de raíz de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4	12,28		
T1 = Control negativo	4		14,63	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			57,78



**Anexo 38.** Longitud (cm) de raíz de lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

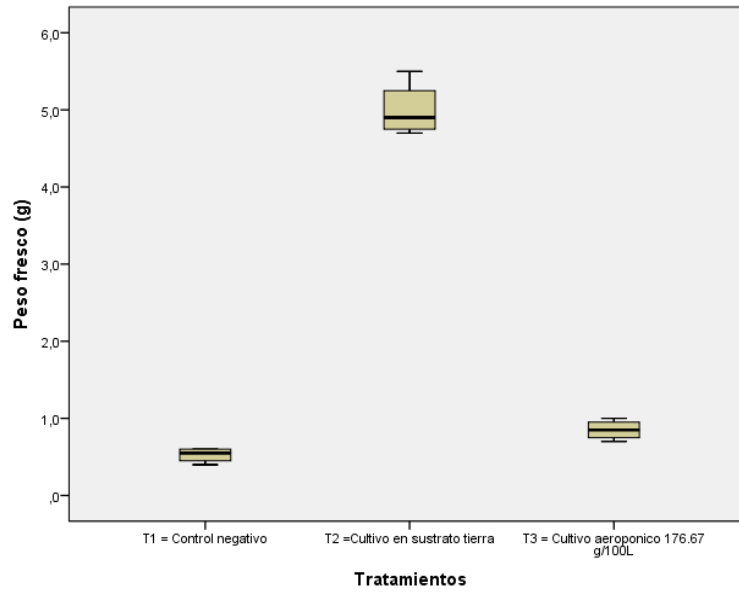
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	13.2	16.3	15.1	16.5	15.28	1.52	9.92	13.2	16.5
(T2)	12.4	13.3	12.7	12.9	12.28	0.38	3.07	12.4	13.3
(T3)	61.3	64.7	60.3	65.6	62.98	2.57	4.08	60.3	65.6

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento  
T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva  
T2: cultivo en sustrato tierra  
T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

**Anexo 39.** Peso fresco (g) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (g)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	0.6	0.6	0.5	0.4	0.53	0.10	18.06	0.4	0.6
(T2)	4.8	4.7	5.5	5	5.00	0.36	7.12	4.7	5.5
(T3)	0.8	0.7	1	0.9	0.85	0.13	15.19	0.7	1

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento  
T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva  
T2: cultivo en sustrato tierra  
T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 40.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 41.** Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan <sup>a</sup>			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	0,53	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4	0,85	
T2 =Cultivo en sustrato tierra	4		5,00

**Anexo 42.** Peso fresco (g) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

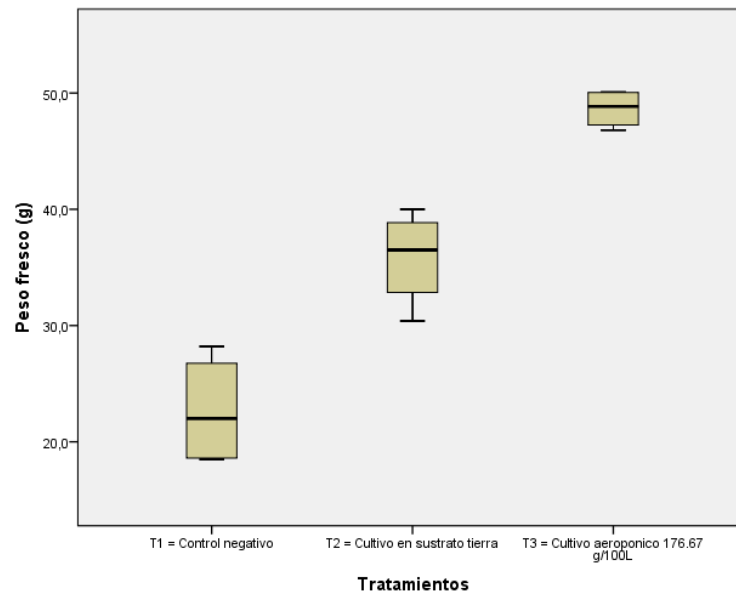
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (g)	D.E.	C.V. (%)	Altura	Altura
	R1*	R2*	R3*	R4*				Minimo	Maximo
(T1)	18.5	25.3	28.2	18.7	22.68	4.85	21.40	18.5	28.2
(T2)	30.4	35.3	40	37.7	35.85	4.11	11.46	30.4	40
(T3)	47.7	50.1	46.8	50	48.65	1.66	3.41	46.8	50.1

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 43.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 44.** Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	22,68		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		35,85	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			48,65

**Anexo 45.** Peso fresco (g) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

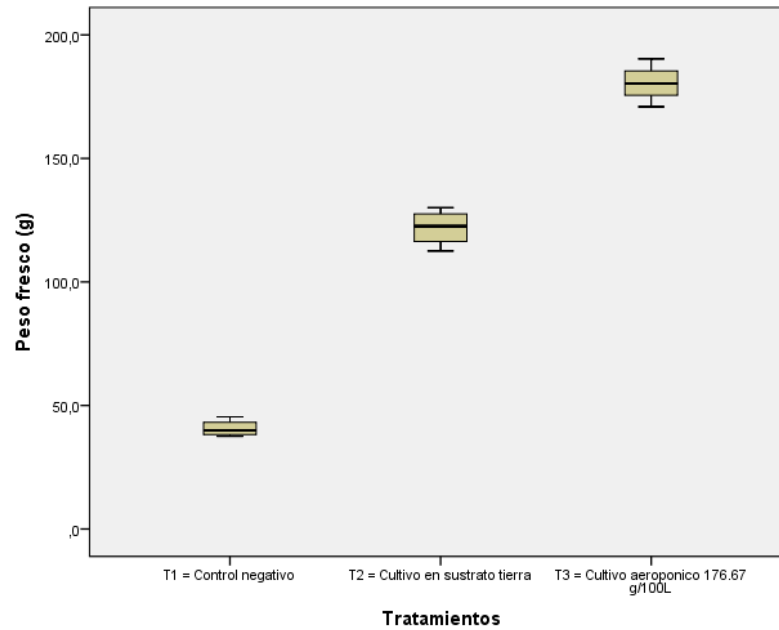
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.C.V.		Altura Mínimo	Altura Maximo
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)			
(T1)	37.5	38.9	40.9	45.4	40.68	3.45	8.47	37.5	45.4
(T2)	112.5	120.2	125	130.1	121.95	7.49	6.14	112.5	130.1
(T3)	180.2	190.3	170.9	180.5	180.48	7.92	4.39	170.9	190.3

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 46.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 47.** Prueba Duncan sobre el peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	40,68		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		121,95	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			180,48



**Anexo 48.** Peso fresco (g) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	40.6	50.5	37.5	55.3	45.98	8.33	18.12	37.5	55.3
(T2)	140.4	150.6	145.8	160.9	149.43	8.71	5.83	140.4	160.9
(T3)	250	256.2	257.3	260.5	256.00	4.40	1.72	250	260.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

**Anexo 49.** Peso seco (g) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

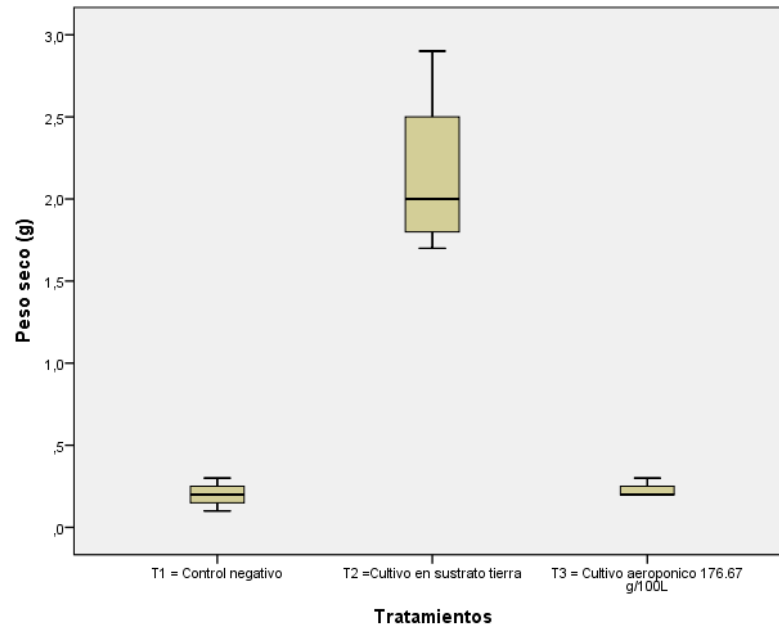
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	0.2	0.3	0.2	0.1	0.20	0.08	40.82	0.1	0.3
(T2)	2.1	2.9	1.7	1.9	2.15	0.53	24.46	1.7	2.9
(T3)	0.2	0.2	0.3	0.2	0.23	0.05	21.74	0.2	0.3

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 50.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 51.** Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	0,20	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4	0,23	
T2 =Cultivo en sustrato tierra	4		2,15

**Anexo 52.** Peso seco (g) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

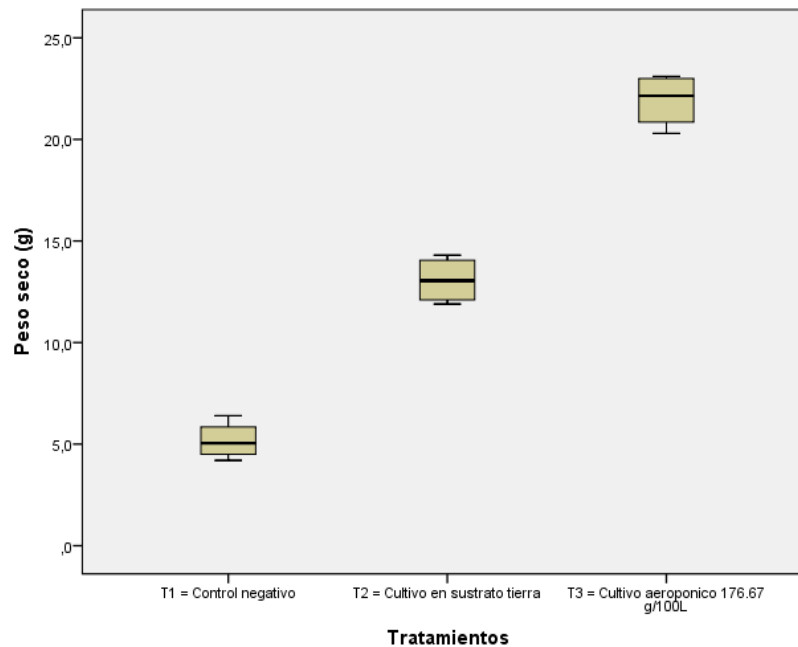
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	6.4	5.3	4.2	4.8	5.18	0.93	18.00	4.2	6.4
(T2)	12.3	14.3	13.8	11.9	13.08	1.16	8.84	11.9	14.3
(T3)	21.4	20.3	23.1	22.9	21.93	1.32	6.03	20.3	23.1

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 53.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.





**Anexo 54.** Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	5,18		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		13,08	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			21,93

**Anexo 55.** Peso seco (g) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

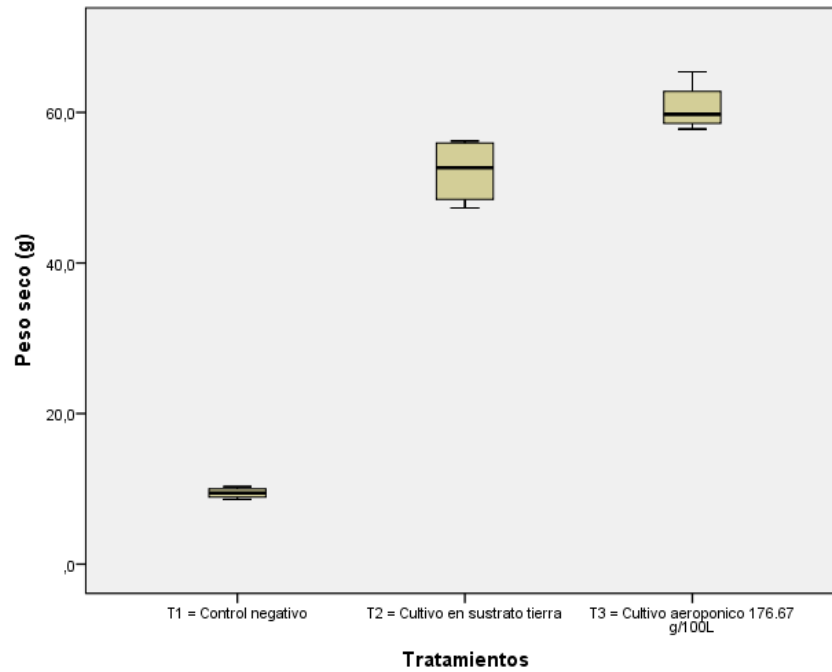
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V. (%)		Altura Mínimo	Altura Máximo
	R1*	R2*	R3*	R4*					
(T1)	8.6	9.7	9.2	10.3	9.45	0.72	7.66	8.6	10.3
(T2)	47.3	55.7	56.2	49.6	52.20	4.44	8.50	47.3	56.2
(T3)	65.4	60.2	57.8	59.3	60.68	3.30	5.44	57.8	65.4

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L



**Anexo 56.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno Julio - diciembre 2019.

**Anexo 57.** Prueba Duncan sobre el peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	9,45		
T2 = Cultivo en sustrato tierra	4		52,20	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			60,68

**Anexo 58.** Peso seco (g) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V.		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)	Mínimo	Máximo	
(T1)	12.4	13.5	14.6	11.9	13.10	1.20	9.18	11.9	14.6
(T2)	37.9	45.2	45.8	42.2	42.78	3.61	8.44	37.9	45.8
(T3)	87.4	99.3	102.5	98.3	96.88	6.57	6.78	87.4	102.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T2: cultivo en sustrato tierra

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

**Anexo 59.** Altura (cm) de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

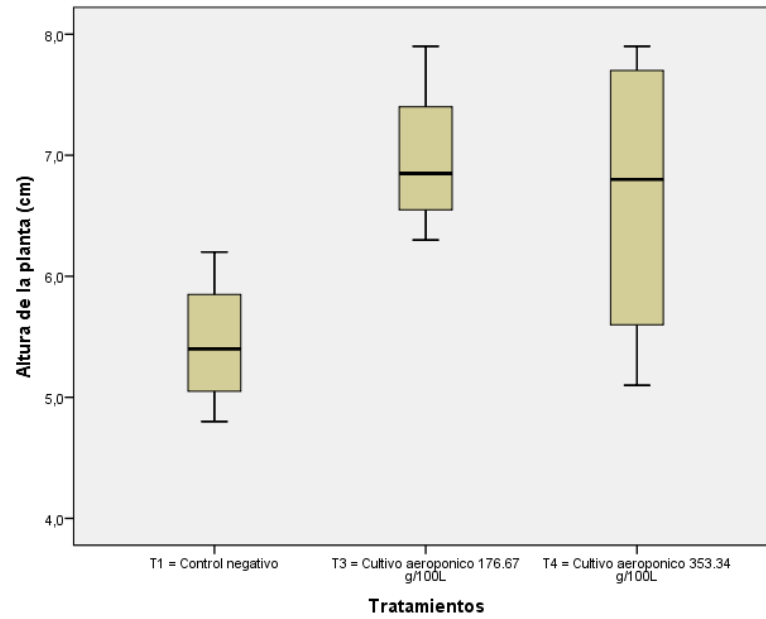
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V.		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)	Mínimo	Maximo	
(T1)	5.3	6.2	4.8	5.5	5.45	0.58	10.65	4.8	6.2
(T3)	6.9	6.8	7.9	6.3	6.98	0.67	9.60	6.3	7.9
(T4)	7.9	7.5	6.1	5.1	6.65	1.29	19.39	5.1	7.9

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 60.** Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 61.** Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	5,45	
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4	6,65	6,65
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		6,98

**Anexo 62.** Altura (cm) de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

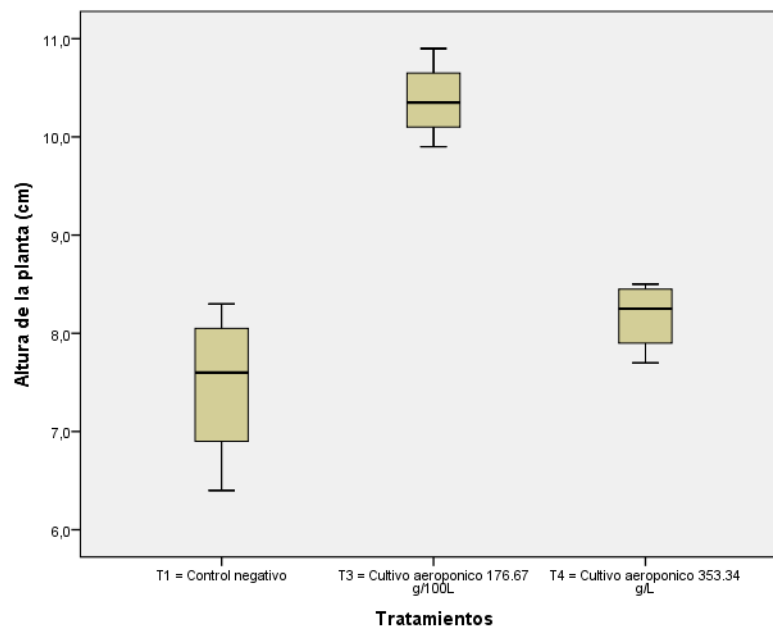
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	6.4	7.8	7.4	8.3	7.48	0.81	10.77	6.4	8.3
(T3)	10.4	10.9	9.9	10.3	10.38	0.41	3.96	9.9	10.9
(T4)	8.1	8.5	8.4	7.7	8.18	0.36	4.39	7.7	8.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 63.** Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 64.** Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	7,48	
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4	8,18	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		10,38

**Anexo 65.** Altura (cm) de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

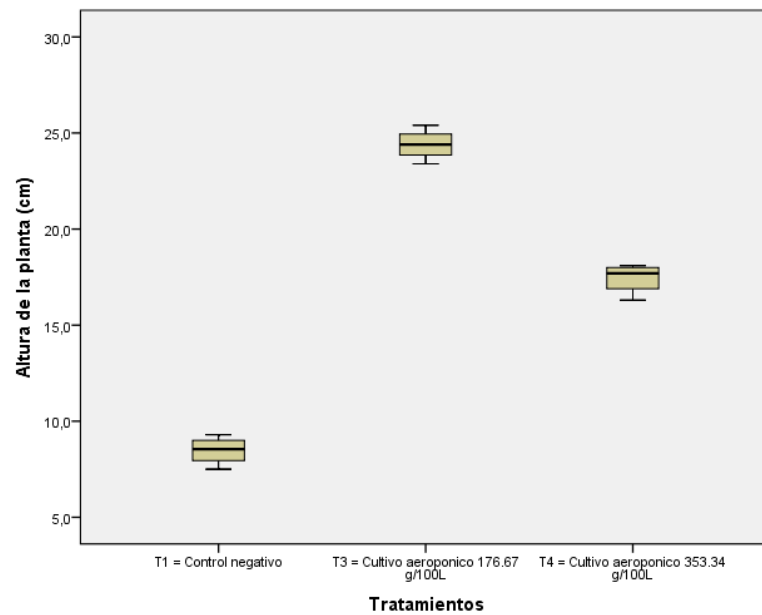
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V. (%)		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		Mínimo	Máximo		
(T1)	9.3	8.4	7.5	8.7	8.48	0.75	8.84	7.5	9.3
(T3)	24.5	25.4	23.4	24.3	24.40	0.82	3.36	23.4	25.4
(T4)	17.5	17.9	16.3	18.1	17.45	0.81	4.62	16.3	18.1

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 66.** Diagrama de cajas simples de comparación de altura (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 67.** Prueba Duncan sobre la altura (cm) de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	8,48		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		17,45	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			24,40

**Anexo 68.** Altura (cm) de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V.		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)		Mínimo	Máximo
(T1)	11.2	10.3	9.8	8.8	10.03	1.00	9.98	8.8	11.2
(T3)	38.2	39.5	38.9	39.8	39.10	0.71	1.81	38.2	39.8
(T4)	26.5	27.5	25.3	28.8	27.03	1.49	5.50	25.3	28.8

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

**Anexo 69.** Longitud (cm) de raíz a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V.		longitud	
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)		Mínimo	Máximo
(T1)	4.3	5.2	6.8	4.2	5.13	1.20	23.47	4.2	6.8
(T3)	9.1	9.2	11.3	9.3	9.73	1.05	10.82	9.1	11.3
(T4)	10.6	8.4	9.3	8.5	9.2	1.02	11.05	8.4	10.6

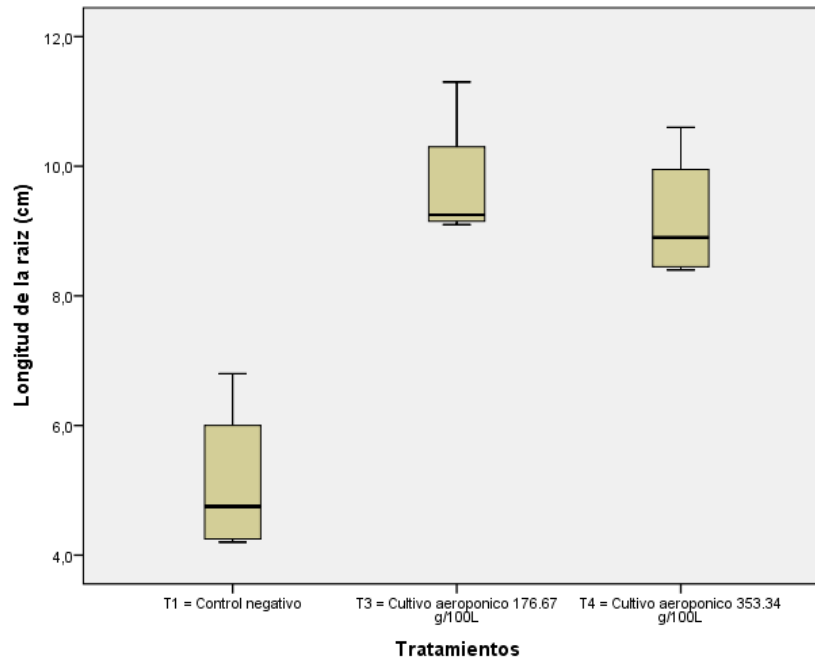
Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L





**Anexo 70.** Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno. Julio - diciembre 2019.

**Anexo 71.** Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 15 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	5,125	
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		9,200
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		9,725

**Anexo 72.** Longitud (cm) de raíz a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

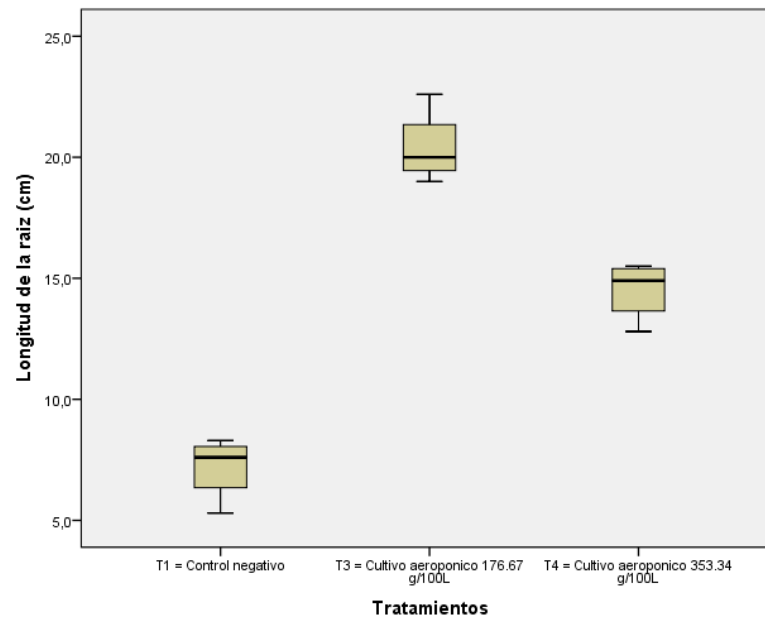
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	longitud	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	8.3	7.4	5.3	7.8	7.20	1.32	18.32	5.3	8.3
(T3)	20.1	19	22	19.9	20.40	1.54	7.55	19	22
(T4)	14.5	15.5	12.8	15.3	14.53	1.23	8.45	12.8	15.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 73.** Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 74.** Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 30 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	7,20		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		14,53	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			20,40

**Anexo 75.** Longitud (cm) de raíz a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

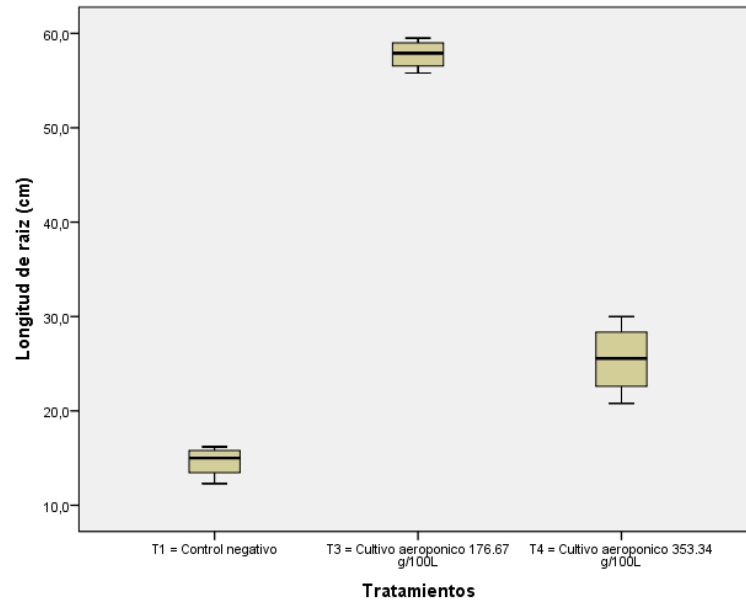
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	longitud	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	12.3	15.4	14.6	16.2	14.63	1.68	11.50	12.3	16.2
(T3)	58.5	55.8	57.3	59.5	57.78	1.59	2.75	55.8	59.5
(T4)	24.4	20.8	26.7	30	25.48	3.87	15.20	20.8	30

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 76.** Diagrama de cajas simples de comparación de la longitud de raíz (cm) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 77.** Prueba Duncan sobre la longitud (cm) de la raíz a los 45 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	14,63		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		25,48	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			57,78



**Anexo 78.** Longitud (cm) de raíz a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	longitud	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	13.2	16.3	15.1	16.5	15.28	1.52	9.92	13.2	16.5
(T3)	61.3	64.7	60.3	65.6	62.98	2.57	4.08	60.3	65.6
(T4)	35	33.4	52.5	42.3	40.8	8.71	21.35	33.4	52.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

**Anexo 79.** Peso (g) fresco de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

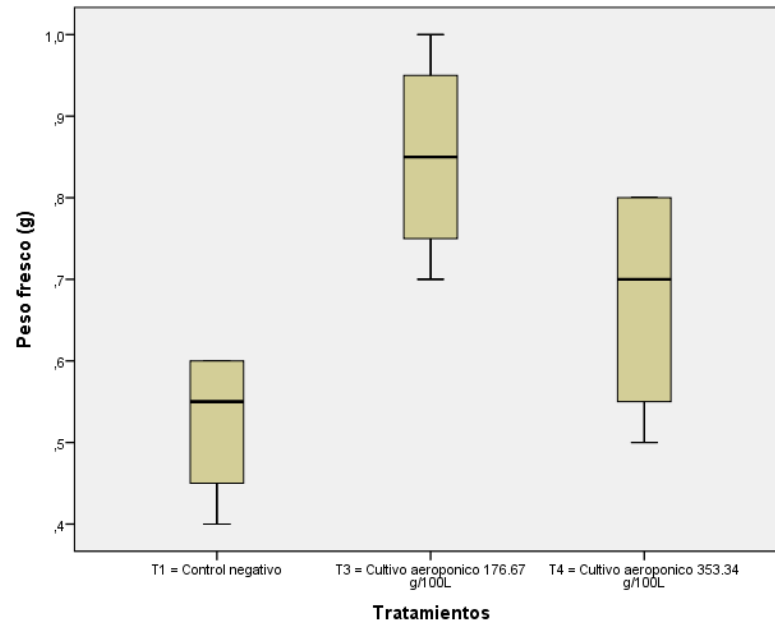
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (g)	D.E.	C.V. (%)	Peso	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	0.6	0.6	0.4	0.4	0.53	0.12	21.79	0.4	0.6
(T3)	0.8	0.7	1	0.9	0.85	0.13	15.19	0.7	1
(T4)	0.8	0.8	0.5	0.6	0.68	0.15	22.06	0.5	0.8

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 80.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - diciembre 2019.

**Anexo 81.** Prueba Duncan sobre peso (g) de la lechuga a los 60 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	0,53	
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4	0,68	0,68
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		0,850

**Anexo 82.** Peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

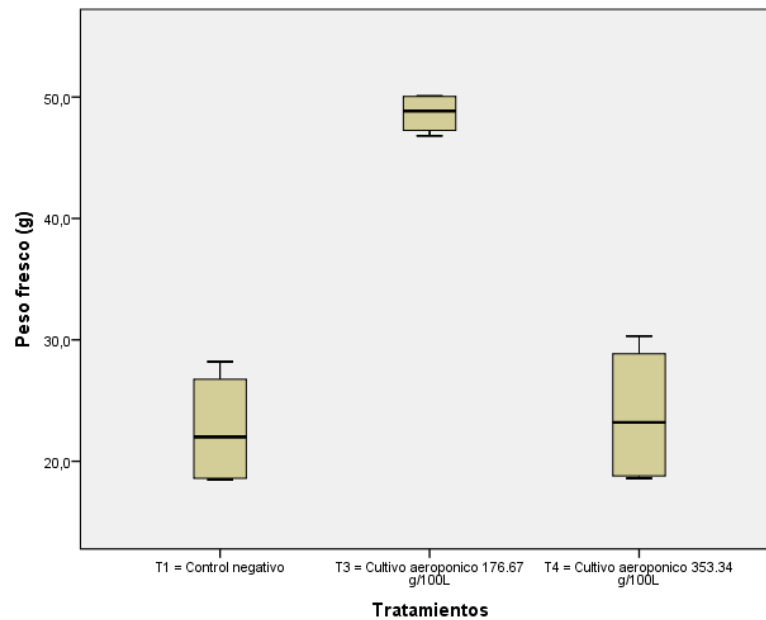
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Peso	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	18.5	25.3	28.2	18.7	22.67	4.85	21.41	18.5	28.2
(T3)	47.7	50.1	46.8	50	48.65	1.66	3.41	46.8	50.1
(T4)	30.3	27.4	19	18.6	23.83	5.92	24.86	18.6	30.3

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 83.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.



**Anexo 84.** Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio- diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1 = Control negativo	4	22,67	
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4	23,83	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4		48,65

**Anexo 85.** Peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.C.V.		Peso	
	R1*	R2*	R3*	R4*		(%)	Mínimo	Máximo	
(T1)	37.5	38.9	40.9	45.4	40.68	3.45	8.47	37.5	45.4
(T3)	180.2	190.3	170.9	180.5	180.48	7.92	4.39	170.9	190.3
(T4)	130	120	125.4	140	128.85	8.48	6.58	120	140

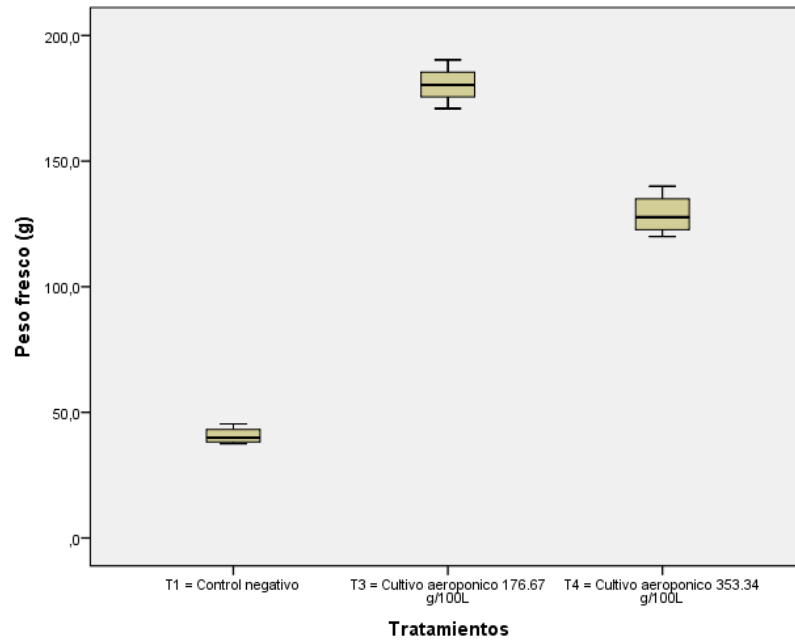
Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L





**Anexo 86.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso fresco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 87.** Prueba Duncan sobre peso (g) fresco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	40,68		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		128,85	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			180,48



**Anexo 88.** Peso (g) fresco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	40.6	50.5	37.5	55.3	45.98	8.33	18.12	37.5	55.3
(T3)	250	256.2	257.3	260.5	256.00	4.40	1.72	250	260.5
(T4)	150.4	113.9	160.6	180.5	151.35	27.92	18.45	113.9	180.5

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L

**Anexo 89.** Peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

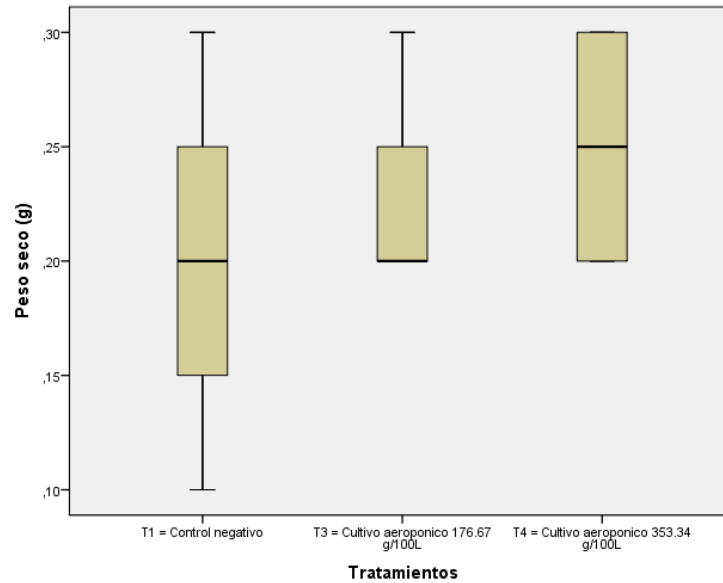
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	0.2	0.3	0.2	0.1	0.20	0.08	40.82	0.1	0.3
(T3)	0.2	0.2	0.3	0.2	0.23	0.05	21.74	0.2	0.3
(T4)	0.3	0.2	0.3	0.2	0.25	0.06	23.09	0.2	0.3

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 90.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 15 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 91 .** Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 15 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para
		alfa = 0.05
		1
T1 = Control negativo	4	0,20
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4	0,23
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4	0,25

**Anexo 92.** Peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

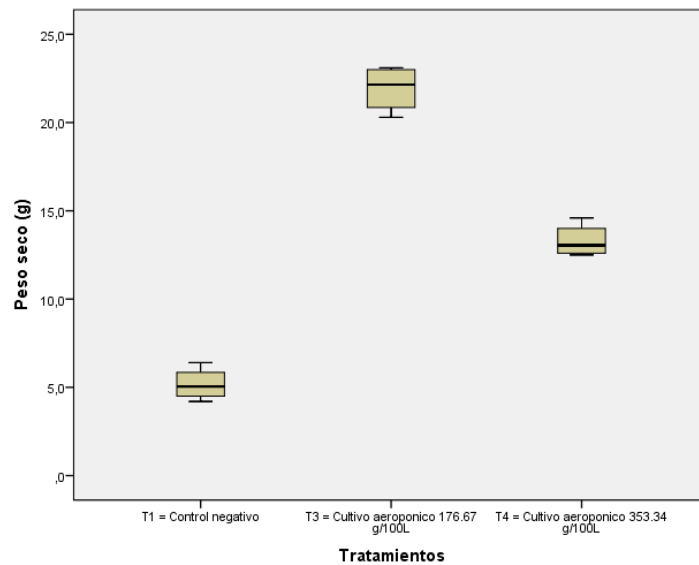
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura Mínimo	Altura Máximo
	R1*	R2*	R3*	R4*					
(T1)	6.4	5.3	4.2	4.8	5.18	0.93	18.00	4.2	6.4
(T3)	21.4	20.3	23.1	22.9	21.93	1.32	6.03	20.3	23.1
(T4)	12.5	13.4	14.6	12.7	13.30	0.95	7.13	12.5	14.6

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 93.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga

a los 30 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.



**Anexo 94.** Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 30 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	5,18		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		13,30	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			21,93

**Anexo 95.** Peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

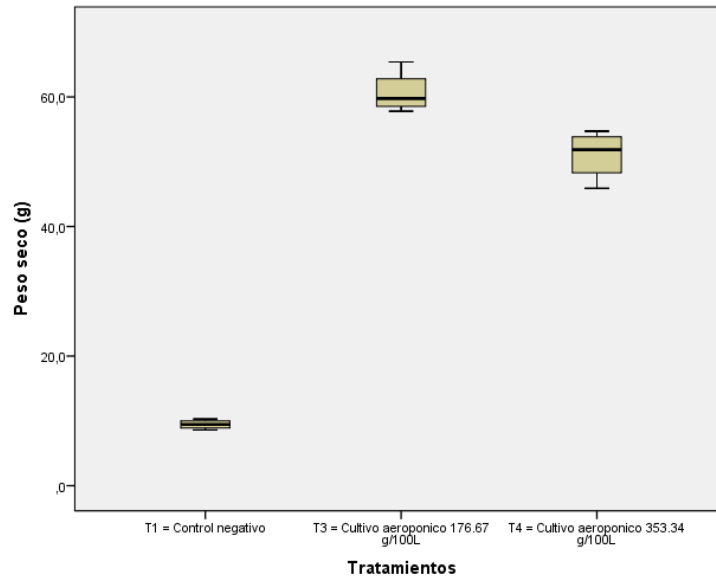
Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E. C.V. (%)		Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*		Mínimo	Máximo		
(T1)	8.6	9.7	9.2	10.3	9.45	0.72	7.66	8.6	10.3
(T3)	65.4	60.2	57.8	59.3	60.68	3.30	5.44	57.8	65.4
(T4)	45.9	50.7	53	54.7	51.08	3.82	7.48	45.9	54.7

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



**Anexo 96.** Diagrama de cajas simples de comparación de peso seco (g) de las plántulas de lechuga a los 45 días realizado el experimento en el invernadero. Puno, Julio - Diciembre 2019.

**Anexo 97.** Prueba Duncan sobre peso (g) seco de la lechuga a los 45 días evaluados Puno julio-diciembre 2019.

Duncan

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1 = Control negativo	4	9,45		
T4 = Cultivo aeropónico 353.34 g/100L	4		51,08	
T3 = Cultivo aeropónico 176.67 g/100L	4			60,68



**Anexo 98.** Peso (g) seco de la lechuga a los 60 días evaluados. Puno julio – diciembre 2019.

Tratamiento	Repeticiones				Promedio (cm)	D.E.	C.V. (%)	Altura	
	R1*	R2*	R3*	R4*				Mínimo	Máximo
(T1)	12.4	13.5	14.6	11.9	13.1	1.20	9.18	11.9	14.6
(T3)	87.4	99.3	102.5	98.3	96.88	6.57	6.78	87.4	102.5
(T4)	61.4	75.8	69.3	80.7	71.8	8.36	11.64	61.4	80.7

Dónde: R1\* R2\* R3\* R4\* son las repeticiones realizadas por cada tratamiento

T1: control negativo cultivo aeropónico sin solución nutritiva

T3: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 176.67 g/100L

T4: cultivo aeropónico con solución nutritiva a 353.34 g/100L



CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE AGUA

Análisis N°: 1222
Fecha de Entrada: 22 de Julio del 2019
Fecha de Certificación: 25 de Julio del 2019
Sistema de Riego:

Localización: Lesmes Torres Quispe, Lidia Aroquipa Flores. Agua Potable

Determinaciones		
pH	6,43	
C.E.	1,032	25°C (mS/cm)
Sales Totales	480,00	(mg/l)
Dureza Total	37,07	CaCO <sub>3</sub> (G.H.F.)
Alcalinidad total	2320,00	CaCO <sub>3</sub>
R.A.S.	6,49	
S.C.R.	5,08	
Índice de Scott		
Boro		(ppm)
<b>CACIONES</b>	<b>meq/l</b>	<b>mg/l</b>
Calcio	2,50	50,10
Magnesio	4,90	59,58
Potasio	36,50	1427,15
Sodio	12,80	2944,00
<b>TOTAL</b>	<b>56,70</b>	
<b>ANIONES</b>	<b>meq/l</b>	<b>mg/l</b>
Cloruros	8,20	290,77
Sulfatos	1,33	63,87
Carbonatos	0,00	0,00
Bicarbonatos	2,32	141,52
<b>TOTAL</b>	<b>11,85</b>	

Representación grafica	Muy baja	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
pH					
C.E.					
Sales Totales					
Dureza Total					
R.A.S.					
S.C.R.					
Índice de Scott					
Litio					
Sodio					
Nitratos					
Cloruros					
Bicarbonatos					

Otras Determinaciones	Resultado	
	meq/l	mg/l
Nitratos (N de NO <sub>3</sub> )	2,90	179,80
Litio	2,70	18,74



INIA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
Ing° JORGE CASHUA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
SALCEDO

<b>Clasificación Riverside: C3S2.</b>
R.A.S: Aguas utilizables con precauciones.
S.C.R: Agua de Duda a no recomendable.
Tipo de Agua: Dura
Diagnóstico y Recomendaciones (Normas de L.V. Wilcox, Diagrama): Agua de Buena a admisible.

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno. Puno. Perú  
T: (051)363-812

Anexo 99. Resultados de la muestra de agua llevas al INIA.



MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura: %de arena, limo y arcilla: método del hidrómetro
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 ó en el extracto de pasta de saturación(s)
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 ó en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2,5.
4. Calcio total (CaCO<sub>3</sub>): método gaseo-volumétrico utilizando un calcimetro.
5. Materia orgánica: método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
6. Nitrógeno total: método del micro Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub> 0.5M, pH 8.5, Bray I, Bray II.
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) N, pH 7,0.
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) N; pH 7,0.
10. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiabiles: reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) N; pH 7,0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica. Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> EDTA.
11. Al-3+ método de Yuan. Extracción con KCl, N.
12. Iones solubles: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> EDTA; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> fotometría de llama y/o absorción atómica; Cl, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> volumetría y colorimetría, SO<sub>4</sub> Turbidimetría con cloruro de bario.
13. Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
14. Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

TABLA DE INTERPRETACIÓN

Salinidad		Nitrógeno	Materia Orgánica	Fósforo Disponible	Potasio Disponible	Relaciones Cationicas	
Clasificación	CE(es)	Clasificación	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg Ca/Mg
Muy ligeramente salino	<2	Bajo	0 - 0,1	<2,0	<7,0	Normal	0,2-0,3 5 a 9
Ligeramente salino	2 a 4	Medio	0,1 - 0,2	2 a 4	7,0 a 14	Deficiente Mg	>0,5
Moderadamente salino	4 a 8	Alto	>0,2	>4,0	>14	Deficiente K	>0,2
Fuertemente salino	>8					Deficiente Mg	>10

Reacción ó pH		Clases Texturales			Distribución de Cationes	
Clasificación	pH					
Fuertemente ácido	<5,5	A	Arena	FvA	Franco arcillo arenoso	Ca <sup>2+</sup> 60-75
Moderadamente ácido	5,6-6,0	AF	Arena franca	FvF	Franco arcilloso	Mg <sup>2+</sup> 15-20
Ligeramente ácido	6,1-6,5	FA	Franco arenoso	FvArl	Franco arcillo limoso	K <sup>+</sup> 3 a 7
Neutro	7,0	Fr	Franco	AvA	Arcillo arenoso	Na <sup>+</sup> <15
Ligeramente alcalino	7,1-7,8	FL	Franco limoso	AvL	Arcillo limoso	
Moderadamente alcalino	7,9-8,4	L	Limoso	Ar	Arcilloso	
Fuertemente alcalino	>8,5					

Equivalencias:  
 1 ppm = 1 mg/kilogramo.  
 1 mililitro (ml) = 1 decílitro (dl) = 10 centilitros (cl).  
 1 mequequivalente/100g = 1 cmol(+) /kilogramo.  
 Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CE(s).  
 CE (l = 2,5) mmol/cm x 2 = CE (es) mmol/cm.  
 T= Traza. \*F= Fibuloso (excesiva presencia de sales, se sugiere realizar análisis de Salinidad, por extracto de saturación).

INIA  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing. JORGE GANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis A.S.C.E.O.

Rinconada de Salcedos/n  
 Puno, Puno, Perú  
 T: (051) 363-812

Anexo 100. Resultados de las muestras de sustrato tierra llevas al INIA.

ANÁLISIS DE FERTILIDAD

Nombre: Lesmes Torres Quispe, Lidia Aroquipa Flores.  
 Fecha de Recepción: 22 de Julio del 2019.  
 Localidad: Puno.

Fecha de Certificación: 31 de Agosto del 2019.

Cod. Lab.	COD. USUARIO	ANÁLISIS		MECANICO		N %	P (ppm)	K (ppm)	Suelo: Agua 1:2.5		M.O. %	AI (meq/100 gr)	CO <sub>2</sub> Ca %
		Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				pH	C.E. (mS/cm)			
314B1	M1	57.60	9.84	32.66	FA	0.10	10.97	254.15	6.71	1.30	2.65	0.00	0.10

Referencias:  
 Método of analysis for soils, plants and waters: University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988, 195p.  
 Conclusiones:  
 La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.  
 Nota:  
 Cualquier corrección y/o emendadura anual al presente documento.  
 Observaciones: (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

INIA  
 ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 Ing. JORGE GANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

Av. La Molina 1981, La Molina  
 T: (051) 240 2100 anexo 214  
 www.inia.gob.pe  
 www.minagri.gob.pe

Anexo 101. Resultados de las muestras de sustrato tierra llevas al INIA.



#### CERTIFICADO DE ANALISIS

SOLICITANTE : Lesmes Torres Quispe.  
Lidia Aroquipa Flores.  
DIRECCION :  
INTERESADO :  
PROCEDECIA :  
PRODUCTO : Soluciones Nutritivas (SN1, SN2).  
CANTIDAD :  
MUESTREO : Interesado.  
TIPO DE ANALISIS : Químico.  
N° DE ANALISIS : 02.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 22 de Julio del 2019.  
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 31 de Agosto del 2019.  
DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

Determinaciones	SN1	SN2
Nitrógeno mg/L	188	387
Fósforo mg/L	32	72
Potasio mg/L	215	394
Calcio mg/L	148	321
Magnesio mg/L	43	0,88
Manganeso mg/L	0,68	1,50
Zinc mg/L	0,19	0,42
Hierro mg/L	1,03	1,88
Cobre mg/L	0,14	0,26
Molibdeno mg/L	0,02	0,009
CE (ms/cm) 15°C	1,84	3,60
pH	5,51	5,52

#### Referencias:

- Methods of analysis for soils, plants and waters: University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1968. 195p.
- 1.-Determinación de pH Potenciometro Calomelano.
  - 2.-Determinación de Conductividad Eléctrica Conductimetro de tres anillos.
  - 3.-Determinación de Nitrógeno Total Semimicrokjeldahl.
  - 4.-Determinación de Fósforo Metavanadato de Amonio.
  - 5.-Determinación de Potasio Combustión húmeda, lectura Fotómetro de Flama
  - 6.-Determinación de Calcio y Magnesio EDTA - verse náto.
  - 7.-Determinación de Hierro Combustión húmeda, Lectura en Espectrofotometro de Luz Visible e Infrarrojo ultra violeta
  - 8.-Determinación de Manganeso, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para manganeso.
  - 9.-Determinación de Zinc, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para zinc.
  - 10.-Determinación de Cobre, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para cobre.
  - 11.-Determinación de Molibdeno, Combustión húmeda, lectura en Espectrofotometro de luz visible, usando Tetraoxiantraquinona como reactivo.

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Soluciones Nutritivas CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, utilizados en el análisis.

#### Nota:

Ninguno.

#### Validez del Certificado:

El presente Certificado es válido, si permanece en su papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión.

Los resultados son aplicables a esta muestra.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE DANIELA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
S.A.C.E.S.O

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (0511) 363-817

Anexo 102. Resultados de las muestras de SN1 y SN2 llevas al INIA.



*"Año de la universalización de la salud"*

## CONSTANCIA

**EL QUE SUSCRIBE PRESIDENTE DEL BARRIO CHEJOÑA – PUNO.**

**HACE CONSTAR:**

Que los Bachilleres, Lidia Aroquipa Flores y Lesmes Torres Quispe, egresados de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano han desarrollado su trabajo de investigación titulado **"CRECIMIENTO AEROPÓNICO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) CON SOLUCIÓN NUTRITIVA HIDROPÓNICA "LA MOLINA" EN CONDICIONES DE INVERNADERO"** en la Av. Panamericana N° 316 Barrio Chejoña, realizadas entre los meses de julio a diciembre del 2019.

Se emite la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 30 de octubre del 2020

Atentamente



*[Handwritten signature]*  
Yury Salvador Zapana Pacho  
DNI 67627100