

Evaluación de Diferentes Concentraciones de Nutrientes en la Producción Hidroponica de
Lechuga (*Lactuca sativa*)

Rafael Fernando Flórez Mojica, Lizeth Carolina Silva González

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

PhD. en Ciencias Agrarias

Codirector

Jorge Andrés Rodríguez Toro

PhD. en Ciencias Forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

Dedicatoria

A Dios, por brindarnos la sabiduría, paciencia, y éxito en la culminación de nuestro proyecto. A nuestros padres por darnos la vida y a cada una de nuestras hermanas por sus consejos y apoyo incondicional en este capítulo de nuestras vidas. A los ingenieros forestales Luis Hernando Cordero, José Manuel Mariño y Dora Machuca admirables personas, quienes sembraron en nosotros el amor y respeto por la Ingeniería Forestal. A cada uno de nuestros compañeros de estudio, maestros, amigos y familiares, quienes sin su compañía todo hubiese sido más difícil.

“Todo el mundo es un genio. Pero si juzgas a un pez por su habilidad para trepar árboles, vivirá toda su vida pensando que es un inútil.”

ALBERT EINSTEIN.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga, por brindarnos la oportunidad de crecer académicamente y a cada uno de sus profesionales por enriquecer nuestros conocimientos. A su personal directivo y administrativo, quienes acompañaron nuestra formación.

Al Dr. Julián Mauricio Botero por su dirección en la ejecución del proyecto y al Dr. Andrés Rodríguez Toro por su codirección y seguimiento. Al docente Rubén Carvajal, agrónomo de la universidad por su amabilidad y disposición para dar respuesta a nuestras inquietudes.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	19
1 Objetivos	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos.....	21
2 Marco Referencial.....	22
2.1 Marco Teórico.....	22
2.2 Marco Histórico	25
2.3 Marco Conceptual	26
2.4 Marco Jurídico	30
3 Metodología	32
3.1 Ubicación	32
3.2 Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma tradicional (<i>CqLs</i>)	32
3.3 Composición química del agua (<i>CqA</i>)	32
3.4 Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma tradicional.....	33
3.4.1 Pesaje de sobres de manila (<i>PS</i>).	33
3.4.2 Secado al horno de sobres de manila (<i>Ssm</i>).	33
3.4.3 Pesaje final de los sobres de manila (<i>PfS</i>).	33
3.4.4 Pesaje de muestras de <i>Lactuca sativa</i> (<i>PLs</i>).	33
3.4.5 Secado al horno de las muestras de <i>Lactuca sativa</i>	33
3.4.6 Pesaje final de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> , más el sobre (<i>PF + S</i>).....	34
3.4.7 Pesaje neto de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> (<i>PN</i>).....	34
3.4.8 Calculo del porcentaje de materia seca de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> (<i>%Ms</i>).....	34
3.5 Diseño experimental	34
3.6 Diseño de estructuras	35
3.6.1 Estructura metálica.....	35
3.6.2 Tubos de Policloruro de vinilo (PVC).	35

3.7 Soluciones nutritivas	35
3.7.1 Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de <i>Lactuca sativa</i> (C_{mc}/u).....	35
3.7.2 Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de <i>Lactuca sativa</i> ajustado al 20% de error por pérdidas (C_{mac}/u).....	36
3.7.3 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de <i>Lactuca sativa</i> $C_{m40} = T0$	36
3.7.4 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de <i>Lactuca sativa</i> aumentado al veinticinco por ciento (+ 25%), $C_{m40} + 25\% = T1$	36
3.7.5 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de <i>Lactuca sativa</i> aumentado al cincuenta por ciento (+ 50%), $C_{m40} + 50\% = T2$	37
3.7.6 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de <i>Lactuca sativa</i> disminuido al veinticinco por ciento (- 25%) $C_{m40} - 25\% = T3$	37
3.7.7 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de <i>Lactuca sativa</i> disminuido al cincuenta por ciento (- 50%) $C_{m40} - 50\% = T4$	38
3.7.8 Composición química porcentual de los minerales presentes en los fertilizantes ($C_{qf}\%$).	38
3.7.9 Composición química en gramos (g), presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes (C_{qfKg}).....	38
3.7.10 Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución nutritiva.	39
3.8 Sistema de riego.....	42
3.8.1 Motobombas.	42
3.8.2 Caudal.	42
3.8.3 Tanque de almacenamiento.....	42
3.8.4 Conexiones.....	42
3.8.5 Sistematización del riego.	43
3.9 Germinación.....	43
3.9.1 Bandejas germinadoras.	43
3.9.2 Sustrato.	43
3.9.3 Desinfección de bandejas germinadoras y sustrato.	43
3.9.4 Semillas de <i>Lactuca sativa</i>	44
3.9.5 Siembra de las semillas de <i>Lactuca sativa</i>	44

3.9.6 Riegos en el proceso de germinación.....	44
3.10 Fertilización	44
3.10.1 Dosificación de tratamientos.....	44
3.10.2 Aplicación de los tratamientos.....	44
3.10.3 Día del trasplante.	44
3.10.4 Día siete (7) después del trasplante.....	45
3.10.5 Día catorce (14) después del trasplante.	45
3.10.6 Día veintiuno (21) después del trasplante.....	45
3.11 Trasplante.....	45
3.12 Manejo agronómico	46
3.13 Medición de variables	46
3.13.1 Altura máxima de la planta.	46
3.13.2 Número de hojas.	46
3.13.3 Cantidad de agua utilizada.	46
3.13.4 Temperatura del agua.....	47
3.13.5 Conductividad eléctrica del agua.	47
3.13.6 pH del agua.	47
3.13.7 Temperatura del ambiente.....	47
3.13.8 Humedad del ambiente.	47
3.13.9 Conductividad eléctrica de la Solución nutritiva.	47
3.13.10 pH de la Solución nutritiva.	48
3.14 Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva (<i>CqfLs</i>).....	48
3.15 Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma hidropónica.....	48
3.15.1 Pesaje de sobres de manila (<i>PS</i>).	48
3.15.2 Secado al horno de sobres de manila (<i>Ssm</i>).	49
3.15.3 Pesaje final de los sobres (<i>PfS</i>).....	49
3.15.4 Pesaje de muestras de <i>Lactuca sativa</i> (<i>PLs</i>).....	49
3.15.5 Secado al horno de las muestras de <i>Lactuca sativa</i>	49
3.15.6 Pesaje final de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> , más el sobre (<i>PF + S</i>).....	49
3.15.7 Pesaje neto de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> (<i>PN</i>).....	50

3.15.8 Calculo del porcentaje de materia seca de las muestras de <i>Lactuca sativa</i> (%Ms).....	50
3.16 Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica (Cf)	50
3.17 Contenido de proteína en las plántulas producidas de forma hidropónica (Prot1)	51
3.18 Eficiencia en la fertilización en las plántulas producidas de forma hidropónica (Ef)	51
3.19 Tabulación de datos	51
3.20 Análisis económico	52
3.20.1 Costo del fertilizante CosFer.	52
3.20.2 Costo del fertilizante aplicado CFa.	52
3.20.3 Costo de producción para un kilogramo de <i>Lactuca sativa</i> CosPro1kg.	52
3.21 Análisis estadístico.....	52
4 Resultados.	53
4.1 Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma tradicional (CqLs)	53
4.2 Composición química del agua (CqA)	53
4.3 Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma tradicional.....	54
4.4 Diseño de estructuras	55
4.4.1 Estructura metálica.....	55
4.4.2 Tubos de Policloruro de vinilo (PVC).	56
4.5 Soluciones nutritivas.....	57
4.5.1 Composición química en gramos (g), presentes en un kilogramo (1 kg) de los minerales presentes en los fertilizantes (CqfKg).....	58
4.5.1 Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución nutritiva.	59
4.6 Sistema de riego.....	64
4.6.1 Conexiones.....	64
4.6.2 Sistematización del riego.	66
4.7 Medición de variables	67
4.7.1 Altura máxima de la planta.	67
4.7.2 Número de hojas.	69
4.7.3 Cantidad de agua utilizada.	71
4.7.4 Temperatura del agua.....	72

4.7.5 Conductividad eléctrica del agua.	72
4.7.6 pH del agua.	72
4.7.7 Temperatura del ambiente.....	73
4.7.8 Humedad del ambiente.	74
4.7.9 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	75
4.7.10 pH de la solución nutritiva.....	76
4.8 Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva (<i>CqfLs</i>).....	77
4.9 Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma hidropónica.....	78
4.10 Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica (<i>Cf</i>)	79
4.11 Contenido de proteína en las plántulas producidas de forma hidropónica (<i>Prot1</i>)	81
4.12 Eficiencia en la fertilización en las plántulas producidas de forma hidropónica (<i>Ef</i>)	82
4.13 Análisis económico	83
4.13.1 Costo del fertilizante <i>CosFer</i>	83
4.13.2 Costo del fertilizante aplicado <i>CFa</i>	84
4.13.3 Costo de producción para un kilogramo de <i>Lactuca sativa CosPro1kg</i>	85
5 Discusión.....	86
6 Conclusiones	89
7 Recomendaciones	90
Referencias bibliográficas.....	91
Apéndices.....	95

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma tradicional.	53
Tabla 2. Composición química del agua.	54
Tabla 3. Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma tradicional.	54
Tabla 4. Soluciones nutritivas.	57
Tabla 5. Composición química de los fertilizantes.	58
Tabla 6. Clases de Nitrógeno.	58
Tabla 7. Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm40 = T0$).	59
Tabla 8. Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm40 + 25 = T1$).	60
Tabla 9. Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm40 + 50\% = T2$).	61
Tabla 10. Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm40 - 25\% = T3$).	62
Tabla 11. Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm40 - 50\% = T4$).	63
Tabla 12. Sistematización del riego.	66
Tabla 13. Composición química de la especie <i>Lactuca sativa</i> producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva.	77
Tabla 14. Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma hidropónica.	78
Tabla 15. Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica (Cf).	80
Tabla 16. Eficiencia en la fertilización en las plántulas producidas de forma hidropónica (Ef).	82
Tabla 17. Costo del fertilizante para un kilogramo (1 kg).	83

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Estructura hidroponica de perfil.	55
Figura 2. Estructura hidroponica de frente.	55
Figura 3. Tubo de PVC con los orificios.	56
Figura 4. Estructura con tubos de PVC y sus conexiones.....	64
Figura 5. Motobomba con manguera de conexión.....	65
Figura 6. Altura máxima en centímetros en cada tratamiento.	68
Figura 7. Numero de hojas en cada tratamiento.	70
Figura 8. Uso de agua.	71
Figura 9. Temperatura del agua.	72
Figura 10. Temperatura del ambiente.	73
Figura 11. Humedad del ambiente.	74
Figura 12. Conductividad eléctrica en cada tratamiento.....	75
Figura 13. Nivel de pH en cada tratamiento.	76
Figura 14. Proteína en cada tratamiento.	81
Figura 15. Costo de fertilización.....	84
Figura 16. Costo de producción.	85

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Primer día de producción.....	95
Apéndice 2. Tratamiento T4 en el día tres.....	95
Apéndice 3. Tratamiento T3 en el día tres.....	96
Apéndice 4. Tratamiento T2 en el día tres.....	96
Apéndice 5. Tratamiento T0 en el día tres.....	97
Apéndice 6. Tratamiento T1 en el día tres.....	97
Apéndice 7. Tratamiento T4 en el día dieciocho.....	98
Apéndice 8. Tratamiento T3 en el día dieciocho.....	98
Apéndice 9. Tratamiento T2 en el día dieciocho.....	99
Apéndice 10. Tratamiento T0 en el día dieciocho.....	99
Apéndice 11. Tratamiento T1 en el día dieciocho.....	100
Apéndice 12. Tratamiento T4 en el día treinta.....	100
Apéndice 13. Tratamiento T3 en el día treinta.....	101
Apéndice 14. Tratamiento T2 en el día treinta.....	101
Apéndice 15. Tratamiento T0 en el día treinta.....	102
Apéndice 16. Tratamiento T1 en el día treinta.....	102
Apéndice 17. Todos los tratamientos en el día treinta.....	103
Apéndice 18. Pesaje de muestras húmedas.....	103
Apéndice 19. Pesaje de muestras secas.....	104
Apéndice 20. Secado de muestras.....	104
Apéndice 21. Medición de conductividad y pH.....	105
Apéndice 22. Pesaje de fertilizantes.....	105
Apéndice 23. Semilla de Lactuca sativa.....	106
Apéndice 24. Siembra de la semilla de Lactuca sativa.....	106
Apéndice 25. Plántulas de Lactuca sativa listas para trasplantar.....	107
Apéndice 26. Invernadero.....	107
Apéndice 27. Timer digital.....	108

Apéndice 28. Tanques de almacenamiento.....	108
---	-----

RESUMEN

TITULO: EVALUACION DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN LA PRODUCCION HIDROPONICA DE LECHUGA (*Lactuca sativa*)¹.

AUTORES: LIZETH CAROLINA SILVA GONZALEZ.
RAFAEL FERNANDO FLOREZ MOJICA².

PALABRAS CLAVE: HIDROPONÍA, AGRICULTURA URBANA, SOLUCIONES NUTRITIVAS, PRODUCCIÓN LIMPIA.

DESCRIPCIÓN:

Ante la necesidad de desarrollar alternativas productivas limpias y amigables con el medio ambiente que permitan la utilización de elementos desechados, su adecuada disposición final y su contribución en la disminución del impacto que pueden producir en el ambiente, surge la necesidad de usar tecnologías innovadoras como la hidroponía de las dos metodologías existentes en la hidroponía "NFT (Técnica de película nutritiva) y NGS (Nuevo sistema de cultivo)" se implementó la NFT. Con la elaboración de esta investigación, centramos la atención en el mejoramiento de la producción y la calidad de la especie (*Lactuca sativa*) mediante soluciones nutritivas y el oportuno aprovechamiento al máximo de los espacios sin uso en las viviendas de las zonas urbanas (patios, azoteas, tierras infértiles, entre otros). Este proyecto se desarrolló con estructuras verticales, en un área de 28 metros cuadrados (m^2) para un total de 200 plantas, evaluando las variables altura, número de hojas, peso total de la planta y productividad. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones, bajo concentraciones de +25%, +50%, -25% y -50%, a partir de la composición química del análisis de laboratorio obtenido con una muestra de *Lactuca sativa* sembrada en suelo.

¹ Trabajo de Grado

² Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF NUTRIENTS IN THE HYDROPONIC PRODUCTION OF LETTUCE (*Lactuca sativa*)³.

AUTHORS: LIZETH CAROLINA SILVA GONZALEZ.
RAFAEL FERNANDO FLOREZ MOJICA⁴.

KEYWORDS: HYDROPONICS, URBAN AGRICULTURE, NUTRIENT SOLUTIONS, ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTION.

DESCRIPTION:

Based on the use of innovative technologies like hydroponics, the present study aims at finding new nonpolluting productive alternatives allowing the reuse of everyday disposable elements (PVC pipes, plastic containers, disposable cups, timber, hoses) as well as the minerals used in hydroponics cultures and their proper final disposal, so that they cannot pollute the environment. The objective of this research is to improve the production process of the species (*Lactuca sativa*) through the use of nutritive solutions inside relatively small spaces of semi and urban areas (patio, rooftops, small gardens or garages). For this study, a total of 200 plants were set up in a vertical structure made of PVC pipes inside an area of 28 x 28m. Variables such as height, number of leaves, the total weight of the plant and productivity were meticulously assessed. In a Randomized Completely Block Design (RCBD) 5 treatments were carried out with 4 repetitions with concentrations of +25%, +50%, -25% and -50% based on the chemical composition found in the laboratory analysis of one soil-grown sample.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: BOTERO LONDOÑO, Julián Mauricio. PhD. en Ciencias Agrarias.

Introducción

Según Beltrano y Gimenez (2015) el cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizando plantas, cuyo crecimiento se genera gracias al suministro adecuado y constante de una solución nutritiva (SN), un coeficiente de acidez y basicidad (pH), conductividad eléctrica y diferentes iones minerales para el crecimiento de la planta. Los rendimientos por unidad de área cultivada son óptimos, ya que se genera una mayor productividad, con eficiencia en el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes, entre otros). Con esta técnica de cultivo sin suelo, se obtienen hortalizas en los estándares adecuados de sanidad y calidad.

Dentro de la hidroponía existen dos (2) métodos de cultivo, el sistema NFT (Nutrient Film Technique) o Técnica de Película Nutritiva, que consiste en mantener plantas sobre un canal cerrado de PVC en el que circula permanentemente una lámina fina de solución nutritiva, permitiendo la oxigenación de las raíces (Carrasco e Izquierdo, 1996) y el Sistema NGS (New Growing System) o Nuevo Sistema de Cultivo, consiste en una multibanda de polietileno, compuesta por varias capas a diferentes niveles, circulando la solución intercomunicada entre sí mediante unas perforaciones en sus paredes, cuya misión es dotar de espacio a la raíz para favorecer su crecimiento y conseguir su oxigenación (Rodríguez, González, Fuentes, Bañuelos y Rascón, 2018).

Según Dehollain (1995) han aumentado los esfuerzos internacionales para apoyar el estudio de técnicas más eficaces en la ejecución de la medición y control de la Seguridad Alimentaria en Hogares (SAH), dado el incremento de pobreza asociado a la aplicación de los programas de ajuste macroeconómico.

La presente investigación es realizada con el diseño experimental completamente al azar, utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) de variedad Simpson crespa, haciendo referencia a la implementación de nuevas tecnologías que ayuden a incrementar la producción de alimentos sanos con rendimiento eficiente y económicamente rentable, respetando el ambiente y siendo amigables con la naturaleza; para ello se tiene en cuenta la aplicación de cultivos hidropónicos, destacados como la evolución de la agricultura. Según Gavilán (2015) esta nueva agricultura cuenta con diferentes sistemas de producción, ya sea de carácter extensivo o intensivo. Los intensivos permiten la obtención de alimentos en corto tiempo, con ambientes protegidos y utilizando gran mano de obra. No obstante, a través del uso de diversas técnicas de cultivo sin suelo, es posible lograr que aquellas hortalizas sean cultivadas en mayor producción por unidad de superficie y de tiempo en relación al suelo a bajos costos.

Finalmente, esta investigación se realizó con el propósito de crear una metodología investigativa, la cual se puede aplicar para nuevos proyectos de diferentes sistemas, entre ellos agroforestales, silvopastoriles, forestales, entre otros.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar las concentraciones de nutrientes en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa*).

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la concentración de minerales en la solución nutritiva, sobre la producción de biomasa en el cultivo de *Lactuca sativa*.
- Evaluar el efecto de la concentración de minerales en la solución nutritiva, sobre el contenido foliar y la calidad nutricional de la *Lactuca sativa*.
- Establecer el costo de producción de biomasa en la *Lactuca sativa*, con base al costo de los fertilizantes aplicados en cada solución nutritiva.
- Analizar la eficiencia de la fertilización a partir de las concentraciones de minerales en las soluciones nutritivas.

2 Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

De acuerdo con Sastoque, Ramírez y Alzate (2005) la expresión AU (Agricultura Urbana), la interpretan como pequeños espacios (solares, huertos, márgenes, terrazas, recipientes) ubicados en ciudades y utilizados en la producción de cultivos y la cría de ganado para el consumo propio o para la venta en los mercados.

Figuerola e Izquierdo (2003) definen la AUP (Agricultura Urbana y Periurbana) de acuerdo a la Red de Agricultura Urbana de Investigaciones Latinoamericanas (AGUILA), como la obtención de productos alimenticios mediante cultivos, forraje, silvicultura y acuicultura, dentro de zonas urbanas y en áreas marginales o rurales, para mejorar la nutrición de la comunidad generando empleos e ingresos o simplemente simplificando el pan coger, contribuyendo así mismo con el saneamiento ambiental a través del reciclaje de aguas y sólidos de desecho. Esta agricultura puede aprovechar cualquier espacio disponible, bien sea cubierto o de libre exposición.

Según Penningsfeld y Kurzman (1993) con la hidroponía se mejoran muchos factores, peso, calidad, cantidad y algo importante, la productividad del trabajo y la reducción en la exigencia que tiene la mano de obra de los horticultores una vez el sistema es ejecutado.

Los cultivos hidropónicos tienen muchas ventajas, en comparación a la agricultura tradicional no es necesaria la rotación de cultivos por presencia de enfermedades o agotamiento en la fertilidad del suelo. Las raíces tienen un mejor crecimiento y desarrollo debido a las condiciones en las que se encuentran, sin necesidad de presentar deterioro por compactación, anaerobiosis o baja infiltración. También se tienen bajos consumos de agua, ya que se recicla con la solución nutritiva,

lo que permite un ahorro significativo de agua y fertilizantes. También soluciona el problema de producción en zonas áridas o de baja temperatura (Alvarado, Cepeda, Blanco, Ojeda y Martínez 2009).

Los posibles problemas por malezas se consideran nulos, ya que este tipo de sistemas tiene un proceso de esterilización que evita así mismo la presencia de algas. En términos generales, se desarrollan producciones comerciales muy exitosas en áreas muy pequeñas como el patio de una casa, que comparado con el sistema tradicional permite mayor plasticidad en el volumen (Ladino, Solano y Obando, 2016).

Las soluciones nutritivas son conocidas por lo general, como soluciones acuosas con un contenido adecuado de oxígeno disuelto y nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta. Una excelente solución nutritiva, conductividad eléctrica y diferentes iones minerales son necesarios para una buena producción en un cultivo hidropónico. Es de gran importancia tener en cuenta la calidad del agua, la alcalinidad y la cantidad de cationes a utilizar, garantizando así una producción de alta calidad (Beltrano y Giménez, 2015).

Para Huterwal (1991) las soluciones nutritivas que se requieren para las plantas en los sistemas de hidroponía, se consiguen fácilmente en el comercio agrícola o en algunos casos pueden ser preparadas por los mismos agricultores expertos en el manejo de estas sustancias.

Sánchez y Escalante (1988) define las soluciones nutritivas como los elementos necesarios disueltos en agua que la planta necesita para su crecimiento, siendo muy importantes 13 elementos: oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, carbono, hidrógeno, magnesio, hierro, boro, cobre, zinc, molibdeno, manganeso, cloro, níquel, potasio y calcio. Este sistema de hidroponía debe ofrecer a la planta las mismas condiciones ambientales que se da en los cultivos tradicionales, de igual

manera las reacciones químicas que se producen en el interior del tejido vegetal se producirán de una manera adecuada.

Barry (1997) afirma que la cantidad de cualquier mineral que esté presente en las soluciones nutritivas son medidas en partes por millón (ppm), lo mismo que medir en miligramos sobre litro (mg/L) o gramos sobre mil litros (g/1000L). Deben ser formuladas teniendo en cuenta las necesidades que requiera la planta, la calidad del agua y la etapa de desarrollo en la que se encuentre el cultivo.

Los datos y registros en el desarrollo de las plantas, deben ser tomados diariamente para registrar los cambios a evaluar (altura y número de hojas, entre otros.) (Uribarri, Sadaba, Aguado y Del Castillo, 2008).

Las plagas que afectan el follaje en las plantas de lechuga son el *Phemphige betae*, la *Diaphania spp*, los Áfidos, pulgón verde (*Myzus persicae Sulzer*) y la cigarrita (*Empoasca spp*). Los insecticidas deben tener una baja toxicidad, las larvas del minador de la hoja (*Liriomyza sativae*), pueden presentar una serie de galerías en las hojas llamadas minas, el ataque produce que las hojas se sequen y se caigan (Casaca, 2005).

Según Lizarro (2009) la lechuga tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Familia: Asteraceae, Sub-familia: Lactucoideae, Tribu: Lactuceae, Nombre científico: *Lactuca sativa*, Nombre común: Lechuga.

La lechuga está enfocada en intereses comerciales en cuanto a la producción del follaje, debido a sus características nutricionales, esta hortaliza presenta ciclos cortos con tolerancia de 6,0 a 6,8 en el pH del agua. Alcanza un máximo de producción a sus 45 días de trasplante en condiciones óptimas de temperatura máxima de 24 °C y mínima de 7° C (Aguilar y Trelles, 2015).

Peralta y Morales (2014) comenzaron el desarrollo de este sistema para aumentar la productividad, en la Universidad de la Molina en Perú, se propuso utilizar tubos de PVC con perforaciones separadas cada 20 cm o 25 cm, con el propósito de colocar las plantas de lechuga; la solución nutritiva fue aplicada con la ayuda de una bomba de acero inoxidable por un extremo y recolectada por el otro para volver a ser aplicada a las plantas, con el fin de volver a reutilizar los nutrientes para tener un mayor aprovechamiento de ellos y una mejor absorción en los sistemas radiculares.

2.2 Marco Histórico

La palabra hidroponía proviene del griego υδρο (Hydro) que significa agua y πονοξ (Ponos) que significa labor. El diccionario de la Real Academia Española lo define como cultivos en soluciones acuosas, actualmente la palabra involucra todas aquellas formas de plantar con algún soporte (arena, grava, carbón, etc.), alimentadas mediante una solución de sales minerales (Díaz, 2004).

Según Beltrano y Giménez (2015) su inicio se remonta en la antigua Babilonia con la creación de los jardines colgantes, teniendo como referencia las técnicas utilizadas en el antiguo Egipto, China, India y la cultura Maya. Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XVII en que John Woodward logró avances y resultados concretos sobre este tema, dando a conocer sus ideas de como las plantas se alimentaban del agua y no del suelo.

En Colombia, los cultivos hidropónicos iniciaron en los años cincuenta, desarrollándose ampliamente además de convertirse en base del desarrollo de la actividad agroindustrial. Las Naciones Unidas con el programa PNUD, en los años 1986 y 1990 aportaron al desarrollo de la hidroponía en algunas empresas como Coljap y Centro las Gaviotas, para el año 1988 la

APROHIJE (Asociación de Hidrocultivadores de Jerusalén), conformaron plantaciones hidropónicas en zonas urbanas de la ciudad de Bogotá, Colombia (Salazar, 2001).

En la provincia de García Rovira en una amplia revisión de literatura, desafortunadamente no se logró encontrar registro bibliográfico veraz sobre la implementación e investigación del tema, por lo cual, es necesario aplicar alternativas innovadoras que permitan el desarrollo de buenas prácticas agrícolas, amigables con el ambiente y el uso de técnicas como la agricultura urbana.

2.3 Marco Conceptual

Agricultura tradicional: Son las prácticas agropecuarias indígenas, consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos y que muestran un nivel alto de sentido ecológico expresado a través del uso intensivo de los conocimientos y recursos naturales autóctonos, que incluyen la gestión de la agrobiodiversidad mediante sistemas agropecuarios diversificados.

Agricultura urbana: Cultivo de plantas y cría de animales en el interior y en los alrededores de las ciudades; proporciona productos alimentarios de distintos tipos.

Agroforestal: Plantaciones que combinan a nivel de parcelas productivas, cultivos agrícolas con especies forestales.

Biomasa: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.

Composición química: Es la unión de dos elementos, con la finalidad de conformar otra.

Circulación: es un término que procede del latín *circulatio* y que hace mención a la acción de circular (perteneciente o relativo al círculo o que parece no tener fin, ya que acaba en el mismo punto en el cual comienza).

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica es una medida de la concentración de las sales disueltas en la solución nutritiva. La CE es utilizada para el seguimiento de las aplicaciones de fertilizantes.

Diseño experimental en bloques completos al azar: Conocido como diseño de doble vía, se aplica cuando el material es heterogéneo. Las unidades experimentales homogéneas se agrupan formando grupos homogéneos llamados bloques.

Dosificación: Determinar o regular la cantidad de algunas cosas.

Esterilización: Refiere a la acción de destruir los gérmenes patógenos o de hacer estéril e infecundo algo que antes no lo era.

Especie: se denomina especie a la unidad básica de clasificación biológica. Una especie es un conjunto de organismos o poblaciones naturales capaces de entrecruzarse y producir descendencia fértil

Fertilizante: Son todas las sustancias, tanto orgánicas (Estiércol, Turba, Abono verde) como minerales (Salitre, Fosfato, Yeso) que se aplican para mejorar la fertilidad del suelo con el propósito de obtener altos rendimientos agrícolas.

Germinación: Es el proceso mediante el cual un embrión se desarrolla hasta convertirse en una planta. Es un proceso que se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe.

Hidroponía: Ciencia que se encarga de analizar los cultivos que se realizan sin hacer uso de la tierra.

Horticultura: La horticultura es la técnica del cultivo de plantas que se desarrollan en huertos.

Macronutrientes: Elementos tomados por la planta en grandes cantidades, sobre todo los 3 primeros: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S).

Materia seca: Parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

Micronutrientes: Elementos tomados por la planta en pequeñísimas cantidades, entre ellos: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl).

Mineral: Sólido inorgánico de origen natural, con una estructura química determinada y una estructura física definida (estructura cristalina) que se encuentran formando cristales.

NFT: Nutrient Film Technique, significa "la técnica de la película de nutriente", es el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo.

NGS: New Growing System, es un método de cultivo "hidropónico recirculante sin sustrato" especialmente indicado para cultivos hortícolas ya sean de pequeño o de gran porte.

Oxigenación: Se refiere a la cantidad de oxígeno en un medio.

pH: Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada.

PVC: Es la denominación por la cual se conoce el policloro de vinilo, un plástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloroetileno (también conocido como cloruro de vinilo). Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

Redox: Reacciones de reducción-oxidación, son aquellas reacciones de tipo químico que llevan a la transferencia de electrones entre reactivos, alterando el estado de oxidación. De este modo, un elemento libera electrones que otro elemento acepta.

Residualidad: Hace referencia a la porción que queda o sobra de un todo, bien sea a causa de su descomposición o destrucción, bien porque su utilidad ya fue aprovechada.

Sales minerales: Se denomina sales minerales a aquellas moléculas de tipo inorgánico que, en los organismos vivos, pueden aparecer como cristales, disueltas, precipitadas o vinculadas a otras moléculas.

Seguridad alimentaria: Existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana.

Silvopastoril: Sistema de uso de la tierra donde las leñosas de aptitud forestal crecen en asociación con hierbas de valor forrajero y animales (domésticos y/o silvestres), en un arreglo espacial y temporal, con múltiples interacciones ecológicas y económicas entre los componentes del sistema.

Sistematización: Proviene de la idea de sistema, de orden o clasificación de diferentes elementos bajo una regla o parámetro similar.

Solución nutritiva: Sistema por el cual los elementos nutritivos se aportan en disolución a ciertos cultivos generalmente forzados o en invernadero.

Variable: Derivada del término en latín *variabilis*, variable es una palabra que representa a aquello que varía o que está sujeto a algún tipo de cambio. Se trata de algo que se caracteriza por ser inestable, inconstante y mudable. En otras palabras, una variable es un símbolo que permite identificar a un elemento no especificado dentro de un determinado grupo.

2.4 Marco Jurídico

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1731 (31, julio, 2014). Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial, y se dictan otras disposiciones relacionadas con el fortalecimiento de la corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA) (Congreso de Colombia, 2014).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 811 (26, junio, 2003). Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 2003).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 731 (14, enero, 2002). Por la cual se dictan normas para favorecer a las mujeres rurales (Congreso de Colombia, 2002).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 29 (27, febrero, 1990). Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias (Congreso de Colombia, 1990).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones” (Congreso de Colombia, 1993).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 101 (23, diciembre, 1993). Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero (Congreso de Colombia, 1993).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 618 (06, octubre, 2000). Por medio de la cual se aprueba la "Enmienda del Protocolo de Montreal aprobada por la Novena Reunión de las Partes", suscrita en Montreal el 17 de septiembre de 1997 (Congreso de Colombia, 2000).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 822 (10, julio, 2003). Por la cual se dictan normas relacionadas con los agroquímicos genéricos (Congreso de Colombia, 2003).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 842 (09, octubre, 2003). Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 2003).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 960 (28, junio, 2005). Por medio de la cual se aprueba la "Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono", adoptada en Beijing, China, el 3 de diciembre de 1999 (Congreso de Colombia, 2005).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1159 (20, septiembre, 2007). Por medio de la cual se aprueba el “Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado previo a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos, Objeto de Comercio Internacional”, hecho en Rotterdam el diez (10) de septiembre de mil novecientos noventa y ocho (1998) (Congreso de Colombia, 2007).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1196 (05, junio, 2008). Por medio de la cual se aprueba el “Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes,” hecho en Estocolmo el 22 de mayo de 2001, la “Corrección al artículo 1o del texto original en español”, del 21 de febrero de 2003, y el “Anexo G al Convenio de Estocolmo”, del 6 de mayo de 2005 (Congreso de Colombia, 2008).

3 Metodología

3.1 Ubicación

El municipio de Málaga se encuentra ubicada al sur oriente del departamento de Santander, capital de la provincia de García Rovira; encontrando tres tipos de climas: templado, cálido y páramo, con una temperatura media de 19 °C y una altitud de 2,200 m.s.n.m. (EOT, 2003).

El proyecto se desarrolló en el área urbana del municipio de Málaga en el barrio Ricaurte, en la azotea de una vivienda con dirección Carrera 12 A No 13 A -12, con una extensión de 28 M².

3.2 Composición Química de la Especie *Lactuca sativa* Producida de Forma Tradicional (*Cq_{LS}*)

La composición química se obtuvo por medio del laboratorio de Análisis de Tejido Vegetal completo (elementos mayores y menores), elaborado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); no obstante, para el análisis se necesitó de una muestra con un peso de un (1) kilogramo, extraída de cuatro (4) individuos de la especie; los cuales, se obtuvieron de un cultivo tradicional en el municipio de Málaga Santander, Colombia.

3.3 Composición Química del Agua (*Cq_A*)

La composición química del agua fue proporcionada por Empresa de Servicios Públicos de Málaga (ESPM).

3.4 Cuantificación de Materia Seca en las Plántulas Producidas de Forma Tradicional

3.4.1 Pesaje de sobres de manila (P_S). Se pesaron los sobres de manila en gramos (g) previamente marcados con el número de la muestra, utilizando una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.4.2 Secado al horno de sobres de manila (S_{sm}). Se introdujeron dos sobres de manila al horno Lab Companion (of-02p) durante veinticuatro (24) horas a ciento cinco grados centígrados (105 °C).

3.4.3 Pesaje final de los sobres de manila (P_{fs}). Se pesaron los sobres de manila en gramos (g), después del proceso de S_{sm} , utilizando una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.4.4 Pesaje de muestras de *Lactuca sativa* (P_{Ls}). El número total de muestras fue de cuatro (4), las cuales se adquirieron de un cultivo tradicional poco tiempo antes del pesaje en gramos (g), utilizando una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.4.5 Secado al horno de las muestras de *Lactuca sativa*. Se introdujeron al horno Lab Companion (of-02p) donde duraron veinticuatro (24) horas a ciento cinco grados centígrados (105 °C).

3.4.6 Pesaje final de las muestras de *Lactuca sativa*, más el sobre (P_{F+S}). Se pesaron en gramos (g) para lograr obtener el valor de materia seca presente en la planta utilizando una balanza de precisión electrónica RADGAW (ps3500.r2).

3.4.7 Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa* (P_N). Se introdujeron los valores de P_{F+S} y de P_{LS} para lograr obtener el valor de materia seca neta presente en la planta, implementando la siguiente ecuación:

$$P_N = P_{F+S} - P_{fS}$$

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa*.

P_{F+S} = Pesaje final de las muestras de *Lactuca sativa* más el sobre.

P_{fS} = Pesaje final de los sobres.

3.4.8 Calculo del porcentaje de materia seca de las muestras de *Lactuca sativa* ($\%Ms$). Se logró calcular utilizando los valores de P_{LS} y de P_N en la siguiente ecuación para cada muestra:

$$\%Ms = \frac{P_N}{P_{LS}} * 100$$

P_{LS} = Pesaje de muestras de *Lactuca sativa*.

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa*.

3.5 Diseño Experimental

Diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones para un total de veinte (20) unidades experimentales, cada repetición conto con ocho plantas de *Lactuca sativa*.

3.6 Diseño de Estructuras

3.6.1 Estructura metálica. La estructura metálica tuvo una altura de cien centímetros (100 cm) con tres soportes directos al suelo y un ancho de ciento ochenta centímetros (180 cm) con tres (3) soportes horizontales, los soportes directos al suelo contaban con un pie de contacto al suelo de veinticinco centímetros (25 cm) perpendicular a los soportes de la estructura y en dirección contraria al eje horizontal. Toda la estructura se elaboró con tubo cuadrado metálico de una pulgada (1 in).

3.6.2 Tubos de Policloruro de vinilo (PVC). Los tubos de PVC fueron de tres pulgadas (3 in), con un largo de doscientos centímetros (200 cm), a los cuales se les hicieron orificios con una broca de cierra circular de una pulgada (1 in) cada veinte centímetros (20 cm), teniendo así diez (10) huecos por tubo.

3.7 Soluciones Nutritivas

3.7.1 Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa* ($Cm_{c/u}$). Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en la Cq_{LS} en porcentaje (%) y el valor P_N en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{c/u} = Cq_{LS} * P_N$$

$Cm_{c/u}$ = Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa*.

Cq_{LS} = Composición química de la especie *Lactuca sativa*.

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa*.

3.7.2 Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa* ajustado al 20% de error por pérdidas ($Cma_{c/u}$). Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cm_{c/u}$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cma_{c/u} = Cm_{c/u} * 1,2$$

$Cma_{c/u}$ = Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa* ajustado al 20% de error por perdidas.

$Cm_{c/u}$ = Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa*.

1,2 = Equivalente a multiplicar el cien por ciento (100%) más el veinte por ciento (20%).

3.7.3 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* $Cm_{40} = T_0$. Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cma_{c/u}$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{40} = Cma_{c/u} * 40$$

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

$Cma_{c/u}$ = Calculo de minerales necesarios para una (1) planta de *Lactuca sativa* ajustado al 20% de error por perdidas.

T_0 = Tratamiento inicial.

3.7.4 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* aumentado al veinticinco por ciento (+ 25%), $Cm_{40} + 25\% = T_1$. Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cm_{40} = T_0$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{40} + 25\% = Cm_{40} * 1,25$$

$Cm_{40} + 25$ = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* aumentado al veinticinco por ciento (+ 25%).

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

T_1 = Tratamiento con concentración aumentada al veinticinco por ciento (25%) respecto al T_0 .

3.7.5 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* aumentado al cincuenta por ciento (+ 50%), $Cm_{40} + 50\% = T_2$. Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cm_{40} = T_0$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{40} + 50 = Cm_{40} * 1,5$$

$Cm_{40} + 50$ = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* aumentado al cincuenta por ciento (+ 50%).

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

T_2 = Tratamiento con concentración aumentada al cincuenta por ciento (50%) respecto al T_0 .

3.7.6 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* disminuido al veinticinco por ciento (- 25%) $Cm_{40} - 25\% = T_3$. Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cm_{40} = T_0$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{40} - 25\% = Cm_{40} * 0,75$$

$Cm_{40} - 25$ = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* disminuido al veinticinco por ciento (- 25%).

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

T_3 = Tratamiento con concentración disminuido al veinticinco por ciento -25% respecto al T_0 .

3.7.7 Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* disminuido al cincuenta por ciento (- 50%) $Cm_{40} - 50\% = T_4$. Este cálculo se realizó introduciendo los resultados obtenidos en el $Cm_{40} = T_0$ en gramos (g), en la siguiente ecuación:

$$Cm_{40} - 50 = Cm_{40} * 0,5$$

$Cm_{40} - 50$ = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* disminuido al cincuenta por ciento (50%).

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

T_4 = Tratamiento con concentración disminuido al cincuenta por ciento (50%) respecto al T_0 .

3.7.8 Composición química porcentual de los minerales presentes en los fertilizantes ($Cqf_{\%}$). Este valor se extrajo de la ficha técnica del fertilizante suministrado por la casa comercializadora donde se adquirió el producto.

3.7.9 Composición química en gramos (g), presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes (Cqf_{kg}). Este cálculo se realizó introduciendo los valores obtenidos en la $Cqf_{\%}$ en porcentaje (%), en la siguiente ecuación:

$$Cqf_{kg} = \frac{1000 * Cqf_{\%}}{100}$$

Cqf_{kg} = Composición química en gramos (g), presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes.

$Cqf_{\%}$ = Composición química porcentual de los minerales presentes en los fertilizantes.

Nota: Este proceso se debe realizar para todos los fertilizantes de forma individual.

3.7.10 Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución nutritiva.

3.7.10.1 Cantidad máxima de fertilizante condicionado por un (1) mineral (Cmf_1). El mineral que fue aportado por un fertilizante, condiciona la cantidad de fertilizante que se podía utilizar, logrando de esta manera aportar la totalidad requerida de dicho mineral para las soluciones nutritivas, empleando la siguiente ecuación:

$$Cmf_1 = \frac{1000 * Mn}{Cqf_{kg}}$$

Cmf_1 = Cantidad máxima de fertilizante condicionado por un (1) mineral.

Mn = Cantidad de mineral necesario en gramos (g) aportado por un único fertilizante.

Cqf_{kg} = Composición química en gramos presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes.

Nota: Este proceso se realizó para todos los fertilizantes que aportaban un mineral, dado que ningún otro fertilizante en su ficha técnica no contenía dicho mineral.

3.7.10.2 Cantidad de mineral aportado por el fertilizante condicionado (Cma_{Cmf_1}). El fertilizante condicionado por ser el único que aportaba un mineral, no solo aportaba dicho mineral, también lograba aportar otros minerales presentes en su Cqf_{kg} . Por esta razón, se realizó el cálculo con el fin de apreciar la cantidad en gramos (g) que el fertilizante lograba aportar en los otros minerales, empleando la siguiente ecuación:

$$Cma_{Cmf_1} = \frac{Cmf_1 * Cqf_{kg}}{1000}$$

Cma_{Cmf_1} = Cantidad de mineral aportado por el fertilizante condicionado.

Cmf_1 = Cantidad máxima de fertilizante condicionado por un (1) mineral.

Cqf_{kg} = Composición química en gramos presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes.

Nota: Este proceso se debe realizar para todos los minerales presentes en los fertilizantes de forma individual, mineral por mineral.

3.7.10.3 Suma parcial de los diferentes minerales aportados por todos los fertilizantes condicionados (S_p). Los fertilizantes condicionados aportaban diferentes minerales, algunos en su totalidad y otros parcialmente; por lo tanto, se sumó para mirar que cantidad aportaba en cada mineral, empleando la siguiente ecuación:

$$S_p = Cma_{Cmf_1} + (Cma_{Cmf_1})^* + \dots n$$

S_p = Suma parcial de los diferentes minerales aportados por los fertilizantes condicionados.

Cma_{Cmf_1} = Cantidad de mineral aportado por el fertilizante condicionado.

$(Cma_{Cmf_1})^*$ = Cantidad de mineral aportado por el fertilizante (diferente al fertilizante que apor to el Cma_{Cmf_1}) condicionado.

(*) = Representa una diferencia simbólica (Fertilizantes) y no un valor calculable.

n = Ultimo fertilizante en aportar el mismo mineral.

Nota: Este proceso se debe realizar para todos los minerales de forma individual, mineral por mineral.

3.7.10.4 Balance final de los minerales que no alcanzaron a ser aportados en su totalidad, por los fertilizantes condicionados (B_F). Los minerales que en los procesos de Cm_{cmf_1} y S_p , no se lograron aportar en su totalidad para cada solución nutritiva, se balancearon con fertilizantes que solo aportaban dicho mineral, empleando la siguiente ecuación:

$$B_F = \frac{1000 * (Cm_{40} - S_p)}{Cqf_{kg}}$$

B_F = Balance final de los minerales que no alcanzaron a ser aportados en su totalidad, por los fertilizantes condicionados.

Cqf_{kg} = Composición química en gramos presentes en un kilogramo (1 Kg) de los minerales presentes en los fertilizantes.

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa*.

S_p = Suma parcial de los diferentes minerales aportados por los fertilizantes condicionados.

Nota: Este proceso se debe realizar para los minerales de forma individual, mineral por mineral.

3.7.10.5 Suma total de los diferentes minerales aportados por los fertilizantes (S_T). La suma total de los minerales aportados por los fertilizantes, se realizó con la finalidad de corroborar que todos los minerales cumpliesen con los requerimientos mineralógicos de los tratamientos (T).

Nota: Los procesos (5.7.10.1, 5.7.10.2, 5.7.10.3, 5.7.10.4 y 5.7.10.59), se realizaron para todos los tratamientos (T_0, T_1, T_2, T_3 y T_4).

3.8 Sistema de Riego

3.8.1 Motobombas. Se utilizaron cinco (5) bombas de agua sumergible PUMP (HJ-1541), una para cada solución nutritiva, con la finalidad oxigenarla por medio de la circulación de la misma.

3.8.2 Caudal. Las bombas de agua sumergible PUMP (HJ-1541), vienen calibradas para tener una salida de 1400 litros por hora (1400 L/h).

3.8.3 Tanque de almacenamiento. Los tanques de almacenamiento tenían una capacidad de ciento veinte litros (120 L), en material metálico anti corrosivo.

3.8.4 Conexiones.

3.8.4.1 Unión entre tubos (PVC) y desagüe al tanque de almacenamiento. Las uniones se realizaron con manguera de una pulgada (1 in), uniendo la parte inferior y superior entre tubos de PVC, conectando el primer PVC de la estructura con el segundo en el extremo derecho, seguidamente conectando el segundo PVC con el tercero en el extremo izquierdo, posteriormente se conectó el tercer PVC con el cuarto en el extremo derecho, y finalmente el cuarto PVC en su extremo izquierdo se conectó con el tanque de almacenamiento de solución nutritiva.

3.8.4.2 Unión entre la motobomba y los tubos. La unión se realizó con manguera de una pulgada (1/2 in), conectando la cabeza de salida de la bomba de agua sumergible PUMP (HJ-1541) y el primer tubo de la estructura en su extremo izquierdo.

3.8.5 Sistematización del riego. Con la implementación de dos (2) timer digital EXCELITE (TUE-11), se controló el tiempo de riego, iniciando a las seis (6:00) de la mañana y terminando a las cinco y treinta y cuatro (5:34) de la tarde. Cada riego tuvo una duración de diez minutos (10 min) y el lapso de tiempo entre riegos fue de veinte seis minutos (26 min). Dado que los timer digital EXCELITE (TUE-11) solo contaban con diez (10) posibles programaciones cada uno.

3.9 Germinación

3.9.1 Bandejas germinadoras. Las bandejas germinadoras utilizadas tenían dieciséis (16) por ocho (8) unidades, con una profundidad de dos centímetros (2cm).

3.9.2 Sustrato. Como sustrato se utilizó arena de río lavada.

3.9.3 Desinfección de bandejas germinadoras y sustrato. La desinfección se realizó con oxícloruro de cobre, se utilizaron tres gramos (3 g) de oxícloruro de cobre por cada litro de agua aplicada en el proceso.

3.9.4 Semillas de *Lactuca sativa*. Se utilizaron semillas certificadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

3.9.5 Siembra de las semillas de *Lactuca sativa*. La siembra se realizó con una profundidad de cinco milímetros (5 mm) en el sustrato.

3.9.6 Riegos en el proceso de germinación. Los riegos se realizaron de forma constante y manual con la finalidad de que el sustrato siempre estuviese húmedo.

3.10 Fertilización

3.10.1 Dosificación de tratamientos. La dosificación se realizó dividiendo cada tratamiento (T) en cuatro (4) partes iguales.

3.10.2 Aplicación de los tratamientos. Cada uno de los tratamientos fueron solubilizados en cien litros (100 L) de agua inicialmente.

3.10.3 Día del trasplante. La primera aplicación se realizó el día del trasplante con una de las cuatro dosis, la cual duro siete (7) días en circulación, solubilizada en cien litros (100L) de agua.

3.10.4 Día siete (7) después del trasplante. La segunda aplicación se realizó el día siete (7) después del trasplante con una de las cuatro dosis la cual duro siete (7) días en circulación, si el nivel del agua estaba por debajo de los cien litros (100 L), se completaba hasta llegar a los cien litros (100 L) de agua iniciales.

3.10.5 Día catorce (14) después del trasplante. La tercera aplicación se realizó el día catorce (14) después del trasplante con una de las cuatro dosis, la cual duro siete (7) días en circulación, si el nivel del agua estaba por debajo de los cien litros (100 L), se completaba hasta llegar a los cien litros (100 L) de agua iniciales.

3.10.6 Día veintiuno (21) después del trasplante. La cuarta aplicación se realizó el día veintiuno (21) después del trasplante con una de las cuatro dosis, la cual duro nueve (9) días en circulación, si el nivel del agua estaba por debajo de los cien litros (100 L), se completaba hasta llegar a los cien litros (100 L) iniciales.

3.11 Trasplante

El trasplante se realizó con las mejores plántulas germinadas, en un recipiente con agua se lavó la raíz de cada una con la finalidad de eliminar cualquier partícula de sustrato que pudiese afectar el funcionamiento del sistema de riego, como soporte se utilizó sustrato de coco en vasos desechables de tres onzas (3 oz), a los cuales se les hicieron perforaciones para que la raíz entrara en contacto con la solución nutritiva.

3.12 Manejo Agronómico

No se tuvieron que aplicar fungicidas, insecticidas, herbicidas o cualquiera de estos agroquímicos, ya que las plantas presentaron excelentes condiciones de sanidad.

3.13 Medición de Variables

3.13.1 Altura máxima de la planta. Se midió la altura máxima de la planta, desde el inicio del tallo hasta la hoja más larga, con la ayuda de una regla en centímetros (cm), esta variable se midió cada tres (3) días, empezando con el día de trasplante y finalizando el día de cosecha.

3.13.2 Número de hojas. Se contaron todas las hojas presentes en la plántula sin importar su tamaño, esta variable se midió cada tres (3) días, empezando con el día de trasplante y finalizando el día de cosecha.

3.13.3 Cantidad de agua utilizada. El día del trasplante todas las soluciones nutritivas empezaron con un valor de cien litros (100 L) de agua, en los días de aplicación de las dosis de los tratamientos se midieron los litros de agua que quedaban en el tanque de almacenamiento, con la finalidad de apreciar el consumo de agua en cada solución nutritiva, y al final completar con más agua hasta llegar al valor de cien litros (100 L).

3.13.4 Temperatura del agua. Se midió la temperatura del agua con ayuda de un termómetro UEETEK digital en grados centígrados (°C). Esta variable se midió en los días de aplicación de las dosis de los tratamientos en cada solución nutritiva.

3.13.5 Conductividad eléctrica del agua. Se midió la Conductividad eléctrica con ayuda de un multímetro de laboratorio digital (C5020) en Milisiemens (mS).

3.13.6 pH del agua. Se midió el pH con ayuda de un multímetro de laboratorio digital (C5020).

3.13.7 Temperatura del ambiente. Se midió la temperatura en el lugar de siembra con ayuda de un termohigrometro digital en grados centígrados (°C), en esta variable se midió la máxima y la mínima temperatura cada día, al finalizar el proceso de producción se sacó un promedio.

3.13.8 Humedad del ambiente. Se midió la humedad en el lugar de siembra con ayuda de un termohigrometro digital en porcentaje (%), esta variable se midió cada día, y al finalizar el proceso de producción se sacó un promedio.

3.13.9 Conductividad eléctrica de la Solución nutritiva. Se midió la Conductividad eléctrica de cada solución nutritiva con ayuda de un multímetro de laboratorio digital (C5020) en Milisiemens (mS), esta variable se midió cuando se aplicó la primera dosis de los tratamientos como medida inicial y al finalizar el proceso de producción como medida final.

3.13.10 pH de la Solución nutritiva. Se midió el pH de cada solución nutritiva con ayuda de un multímetro de laboratorio digital (C5020), esta variable se midió cuando se aplicó la primera dosis de los tratamientos como medida inicial y al finalizar proceso de producción como medida final.

3.14 Composición Química de la Especie *Lactuca sativa* Producida de Forma Hidroponica con cada Solución Nutritiva (Cqf_{Ls})

La composición química se obtuvo por medio del laboratorio de Análisis de Tejido Vegetal completo (elementos mayores y menores), elaborado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Para el análisis se enviaron cinco (5) muestras, una de cada solución nutritiva, cada una con un peso de un kilogramo (1 kg), por factores económicos dichas muestras fueron tomadas aleatoriamente entre las plantas producidas en todas las repeticiones.

3.15 Cuantificación de Materia Seca en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica

3.15.1 Pesaje de sobres de manila (P_s). Se pesaron los sobres de manila previamente marcados con el número de la muestra en una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.15.2 Secado al horno de sobres de manila (S_{sm}). Se introdujeron dos sobres de manila al horno Lab Companion (of-02p) durante veinticuatro horas (24) a ciento cinco grados centígrados (105 °C).

3.15.3 Pesaje final de los sobres (P_{fs}). Se pesaron los sobres de manila en gramos (g), después del proceso de S_{sm} , para esta actividad se utilizó una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.15.4 Pesaje de muestras de *Lactuca sativa* (P_{Ls}). Del cultivo hidropónico se tomó al azar, por cada solución nutritiva dieciséis (16) muestras, cuatro (4) por repetición, pesadas en una balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.15.5 Secado al horno de las muestras de *Lactuca sativa*. Se introdujeron al horno Lab Companion (ps3500.r2) donde duraron veinticuatro (24) horas a ciento cinco grados centígrados (105 °C).

3.15.6 Pesaje final de las muestras de *Lactuca sativa*, más el sobre (P_{F+S}). Se pesaron para lograr obtener el valor de materia seca presente en la planta con ayuda de la balanza de precisión electrónica RADWAG (ps3500.r2).

3.15.7 Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa* (P_N). Se introdujeron los valores de P_{F+S} y de P_{LS} para lograr obtener el valor de materia seca neta presente en la planta, implementando la siguiente ecuación:

$$P_N = P_{F+S} - P_{fS}$$

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa*.

P_{F+S} = Pesaje final de las muestras de *Lactuca sativa* más el sobre.

P_{fS} = Pesaje final de los sobres.

3.15.8 Calculo del porcentaje de materia seca de las muestras de *Lactuca sativa* (% MS). Se logró calcular aplicando la siguiente ecuación para cada muestra, de cada solución y su respectivo tratamiento:

$$\%MS = \frac{P_N}{P_{LS}} * 100$$

P_{LS} = Pesaje de muestras de *Lactuca sativa*.

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa*.

3.16 Contenido Foliar de las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (C_f)

El contenido foliar se calculó utilizando los valores de Cqf_{LS} en porcentaje y los valores de P_N hidropónica en gramos con la siguiente ecuación:

$$Cf = \frac{Cqf_{LS}}{100} * P_N \text{ (Hidropónica)}$$

Cqf_{LS} = Composición química de la especie *Lactuca sativa* producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva.

P_N = Pesaje neto de las muestras de *Lactuca sativa* hidropónica.

3.17 Contenido de Proteína en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (*Prot1*)

El contenido de proteína se calculó utilizando los valores de C_f (para el Nitrógeno) en gramos (g) en la siguiente ecuación:

$$Prot1 = C_f * 6,25$$

C_f = Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica.

3.18 Eficiencia en la Fertilización en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (*Ef*)

La eficiencia en la fertilización se calculó con los valores de C_f en gramos (g) y los valores de Cm_{40} en cada tratamiento (Cm_{40} , $Cm_{40} + 25\%$, $Cm_{40} + 50\%$, $Cm_{40} - 25\%$ y $Cm_{40} - 50\%$) en la siguiente ecuación:

$$Ef = \frac{Cf}{Cm_{40}}$$

C_f = Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica.

Cm_{40} = Calculo de minerales necesarios para cuarenta (40) plantas de *Lactuca sativa* en cada tratamiento (Cm_{40} , $Cm_{40} + 25\%$, $Cm_{40} + 50\%$, $Cm_{40} - 25\%$ y $Cm_{40} - 50\%$).

3.19 Tabulación de Datos

Los datos se tabularon en la aplicación Microsoft Excel (2016), por medio de tablas.

3.20 Análisis Económico

3.20.1 Costo del fertilizante *CosFer*. Se utilizó el costo comercial del fertilizante para un kilogramo (1 kg) en pesos.

3.20.2 Costo del fertilizante aplicado *CFa*. El costo del fertilizante aplicado, se calculó con el costo del fertilizante en pesos y la cantidad de fertilizante utilizado en gramos (g) en cada tratamiento con la siguiente ecuación:

$$CFa = \frac{CosFer * 3.7.10}{1000}$$

CosFer = Costo del fertilizante.

3.7.10 = Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución.

3.20.3 Costo de producción para un kilogramo de *Lactuca sativa* *CosPro1kg*. El costo de producción para un kilogramo (1 Kg) de *Lactuca sativa* se realizó con los valores de P_{Ls} en gramos y los valores de *CFa* con la siguiente ecuación:

$$CosPro1kg = \frac{1000 * CFa}{P_{Ls}}$$

P_{Ls} = Pesaje de muestras de *Lactuca sativa*.

CFa = Costo del fertilizante aplicado.

3.21 Análisis Estadístico

El procesamiento estadístico se realizó con la ayuda del software R- Project (3.5.2) implementando la prueba de rangos múltiples de Duncan. Con una significancia menor o igual al 0,05.

4 Resultados.

4.1 Composición Química de la Especie *Lactuca sativa* Producida de Forma Tradicional (Cq_{Ls})

La composición mineralógica de la especie *Lactuca sativa* producida de forma tradicional mostro las siguientes concentraciones:

Tabla 1.

Composición química de la especie Lactuca sativa producida de forma tradicional.

Mineral	Unidad	Valor
N	%	3,50
P	%	0,58
K	%	5,58
Ca	%	1,47
Mg	%	0,12
Na	%	0,1634
S	%	0,21
Fe	mg*kg-1	213,89
Cu	mg*kg-1	8,54
Mn	mg*kg-1	7,22
Zn	mg*kg-1	48,92
B	mg*kg-1	26,50

4.2 Composición Química del Agua (Cq_A)

La composición química del agua dio como resultado los siguientes valores.

Tabla 2.
Composición química del agua.

Parámetro	Unidad	Valor	Criterio
Nitritos	mg/L (NO ₂)	0,01	Aceptable
Cloruros	mg/L (NaCl)	0,2<2,5	Aceptable
Dureza total	mg/L (CaCO ₃)	88	Aceptable
Hierro total	mg/L (Fe)	0,03<0,05	Aceptable
Sulfatos	mg/L (SO ₄)	36	Aceptable
Cloro residual	mg/L (Cloro)	1,41	Aceptable
pH	(Unidad de pH)	7,93	Aceptable

4.3 Cuantificación de Materia Seca en las Plántulas Producidas de Forma Tradicional

La cuantificación de materia seca en las plántulas producidas durante tres meses de forma tradicional, dio como resultado un P_{Ls} de 350,39 gramos en promedio, un P_N de 29,16 gramos en promedio. Presentando un promedio en el porcentaje de materia seca del 8,32%.

Tabla 3.
Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma tradicional.

Muestra	P_{Ls}	P_N	Ms
	(g)		(%)
1	349,73	28,15	8,05
2	339,65	27,68	8,15
3	356,27	30,65	8,60
4	355,91	30,16	8,47
Promedio	350,39	29,16	8,32

4.4 Diseño de Estructuras

4.4.1 Estructura metálica. El diseño de la estructura fue el siguiente:



Figura 1. Estructura hidropónica de perfil.



Figura 2. Estructura hidropónica de frente.

4.4.2 Tubos de Policloruro de vinilo (PVC). Los tubos tuvieron el siguiente diseño:



Figura 3. Tubo de PVC con los orificios.

4.5 Soluciones Nutritivas

Los cálculos de las ecuaciones 3.7.1, 3.7.2, 3.7.3, 3.7.4, 3.7.5, 3.7.6 y 3.7.7 proporcionaron los siguientes resultados:

Tabla 4.
Soluciones nutritivas.

Mineral	Cq_{Ls} (%)	P_N	$Cm_{c/u}$	$Cma_{c/u}$	$Cm_{40} = T_0$	$Cm_{40} + 25\% = T_1$	$Cm_{40} + 50\% = T_2$	$Cm_{40} - 25\% = T_3$	$Cm_{40} - 50\% = T_4$
					(g)				
N	3,5	29,16	1,0206	1,2247	48,988	61,2360	73,4832	36,7416	24,4944
P	0,58	29,16	0,1691	0,2030	8,1181	10,1477	12,1772	6,0886	4,0591
K	5,58	29,16	1,6271	1,9526	78,102	97,6277	117,1532	58,5766	39,0511
Ca	1,47	29,16	0,4287	0,5144	20,575	25,7191	30,8629	15,4315	10,2876
Mg	0,12	29,16	0,0350	0,0420	1,6796	2,0995	2,5194	1,2597	0,8398
Na	0,1634	29,16	0,0476	0,0572	2,2871	2,8588	3,4306	1,7153	1,1435
S	0,21	29,16	0,0612	0,0735	2,9393	3,6742	4,4090	2,2045	1,4697
Fe	0,0213	29,16	0,0062	0,0075	0,2994	0,3742	0,4491	0,2245	0,1497
Cu	0,0008	29,16	0,0002	0,0003	0,0120	0,0149	0,0179	0,0090	0,0060
Mn	0,0007	29,16	0,0002	0,0003	0,0101	0,0126	0,0152	0,0076	0,0051
Zn	0,0048	29,16	0,0014	0,0017	0,0685	0,0856	0,1027	0,0514	0,0342
B	0,0026	29,16	0,0008	0,0009	0,0371	0,0464	0,0556	0,0278	0,0185

4.5.1 Composición química en gramos (g), presentes en un kilogramo (1 kg) de los minerales presentes en los fertilizantes (*Cqf_{kg}*). La composición química de los fertilizantes en gramos fue la siguiente:

Tabla 5.

Composición química de los fertilizantes.

Fertilizantes	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(g/kg)											
Nitrato de calcio	150			260								
Nitrato de potasio	130		440									
Sulfato de magnesio					165		120					
Sulfato de potasio			500				180					
Foss 61	120	610										
Quelato de zinc			30				50				120	
Quelato de hierro			30				70	120				
Quelato de cobre			30				50		120			
Quelato de manganeso			30				70			120		
Boro												150
Urea	460											

Tabla 6.

Clases de Nitrógeno.

Fertilizante	Nitrógeno Ureico	Nitrógeno Nítrico	Nitrógeno Amoniacal
	(g)		
Nitrato de calcio		150	
Nitrato de potasio		130	
Foss 61			120
Urea	460		
Total	460	280	120
Nitrógeno total		860	

4.5.1 Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución nutritiva. El balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución nutritiva se realizó por separado para cada tratamiento.

Tabla 7.

Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm_{40} = T_0$).

Tratamiento	$Cm_{40} = T_0$	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Fertilizantes						(g)							
Nitrato de calcio	79,136	11,870			20,575								
Nitrato de potasio	167,790	21,813		73,828									
Sulfato de magnesio	10,179					1,680		1,222					
Sulfato de potasio	8,354			4,177				1,504					
Foss 61	13,308	1,597	8,118										
Quelato de zinc	0,571			0,017				0,029				0,068	
Quelato de hierro	2,495			0,075				0,175	0,299				
Quelato de cobre	0,100			0,003				0,005		0,012			
Quelato de manganeso	0,084			0,003				0,006			0,010		
Boro	0,247												0,037
Urea	29,802	13,709											
Sub Total		35,280		0,097				1,436					
				4,275									
Total		48,989	8,118	78,102	20,575	1,680	0,000	2,939	0,299	0,012	0,010	0,068	0,037

Balance para el tratamiento T0.

Tabla 8.

Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm_{40} + 25 = T_1$).

Tratamiento	$Cm_{40} + 25 = T_1$	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Fertilizantes						(g)							
Nitrato de calcio	98,920	14,838			25,719								
Nitrato de potasio	209,737	27,266		92,284									
Sulfato de magnesio	12,724					2,100		1,527					
Sulfato de potasio	10,443			5,221				1,880					
Foss 61	16,636	1,996	10,148										
Quelato de zinc	0,713			0,021				0,036				0,086	
Quelato de hierro	3,119			0,094				0,218	0,374				
Quelato de cobre	0,125			0,004				0,006		0,015			
Quelato de manganeso	0,105			0,003				0,007			0,013		
Boro	0,309												0,046
Urea	37,252	17,136											
Sub Total		44,100		0,122				1,794					
				5,343									
Total		61,236	10,148	97,628	25,719	2,100	0,000	3,674	0,374	0,015	0,013	0,086	0,046

Balance para el tratamiento T1.

Tabla 9.

Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm_{40} + 50\% = T_2$).

Tratamiento	$Cm_{40} + 50\% = T_2$	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Fertilizantes						(g)							
Nitrato de calcio	118,704	17,806			30,863								
Nitrato de potasio	251,685	32,719		110,741									
Sulfato de magnesio	15,269					2,519		1,832					
Sulfato de potasio	12,531			6,266				2,256					
Foss 61	19,963	2,396	12,177										
Quelato de zinc	0,856			0,026				0,043				0,103	
Quelato de hierro	3,742			0,112				0,262	0,449				
Quelato de cobre	0,149			0,004				0,007		0,018			
Quelato de manganeso	0,126			0,004				0,009			0,015		
Boro	0,371												0,056
Urea	44,702	20,563											
Sub Total		52,920		0,146				2,153					
				6,412									
Total		73,483	12,177	117,153	30,863	2,519	0,000	4,409	0,449	0,018	0,015	0,103	0,056

Balance para el tratamiento T2.

Tabla 10.

Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm_{40} - 25\% = T_3$).

Tratamiento	$Cm_{40} - 25\% = T_3$	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Fertilizantes	(g)												
Nitrato de calcio	59,352	8,903			15,431								
Nitrato de potasio	125,842	16,360		55,371									
Sulfato de magnesio	7,635					1,260		0,916					
Sulfato de potasio	6,266			3,133				1,128					
Foss 61	9,981	1,198	6,089										
Quelato de zinc	0,428			0,013				0,021				0,051	
Quelato de hierro	1,871			0,056				0,131	0,225				
Quelato de cobre	0,075			0,002				0,004		0,009			
Quelato de manganeso	0,063			0,002				0,004			0,008		
Boro	0,185												0,028
Urea	22,351	10,282											
Sub Total		26,460		0,073				1,077					
				3,206									
Total		36,742	6,089	58,577	15,431	1,260	0,000	2,204	0,225	0,009	0,008	0,051	0,028

Balance para el tratamiento T3.

Tabla 11.

Balance de los fertilizantes respecto al requerimiento de los minerales en cada solución ($Cm_{40} - 50\% = T_4$).

Tratamiento	$Cm_{40} - 50\% = T_4$	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Fertilizantes						(g)							
Nitrato de calcio	39,568	5,935			10,288								
Nitrato de potasio	83,895	10,906		36,914									
Sulfato de magnesio	5,090					0,840		0,611					
Sulfato de potasio	4,177			2,089				0,752					
Foss 61	6,654	0,799	4,059										
Quelato de zinc	0,285			0,009				0,014				0,034	
Quelato de hierro	1,247			0,037				0,087	0,150				
Quelato de cobre	0,050			0,001				0,002		0,006			
Quelato de manganeso	0,042			0,001				0,003			0,005		
Boro	0,124												0,019
Urea	14,901	6,854											
Sub Total		17,640		0,049				0,718					
				2,137									
Total		24,494	4,059	39,051	10,288	0,840	0,000	1,470	0,150	0,006	0,005	0,034	0,019

Balance para el tratamiento T4.

4.6 Sistema de Riego

4.6.1 Conexiones.

4.6.1.1 Unión entre tubos (PVC) y desagüe al tanque de almacenamiento. Las uniones se conectaron de la siguiente manera:



Figura 4. Estructura con tubos de PVC y sus conexiones.

4.6.1.2 Unión entre la motobomba y los tubos. La unión se realizó con una manguera de media pulgada.



Figura 5. Motobomba con manguera de conexión.

4.6.2 Sistematización del riego. La sistematización del riego fue la siguiente:

Tabla 12.

Sistematización del riego.

Inicio	Numero de timer digital	Fin
6:00 am	Timer digital (1)	6:10 am
6:36 am	Timer digital (1)	6:46 am
7:12 am	Timer digital (1)	7:22 am
7:48 am	Timer digital (1)	7:58 am
8:24 am	Timer digital (1)	8:34 am
9:00 am	Timer digital (1)	9:10 am
9:36 am	Timer digital (1)	9:46 am
10:12 am	Timer digital (1)	10:22 am
10:48 am	Timer digital (1)	10:58 am
11:24 am	Timer digital (1)	11:34 am
12:00 m	Timer digital (2)	12:10 pm
12:36 pm	Timer digital (2)	12:46pm
1:12 pm	Timer digital (2)	1:22 pm
1:48 pm	Timer digital (2)	1:58 pm
2:24 pm	Timer digital (2)	2:34 pm
3:00 pm	Timer digital (2)	3:10 pm
3:36 pm	Timer digital (2)	3:46 pm
4:12 pm	Timer digital (2)	4:22 pm
4:48 pm	Timer digital (2)	4: 58 pm
5:24 pm	Timer digital (2)	5: 34 pm

4.7 Medición de Variables

4.7.1 Altura máxima de la planta. Inicialmente las plántulas evidenciaron una altura similar sin presentar diferencias significativas ($P < 0,05$); encontrando diferencias significativas ($P < 0,05$) a partir del día siete (7), dando como resultado una diferencia significativa en el tratamiento T2 (6,17cm) respecto a los otros tratamientos T0 (10,64cm), T3 (10,05cm), T4 (9,79cm) y T1 (8,07cm).

Se evidencio que el día diecinueve (19) los tratamientos T0 (14,45cm) y T4 (13,77cm) no presentaron diferencias significativas entre ellos, pero respecto a los tratamientos T3 (12,71cm), T1 (10,64cm) y T2 (8,16cm) se evidenciaron diferencias significativas.

Finalmente, el día treinta y uno (31) el tratamiento T0 (24,53cm) presento los mejores resultados, observando diferencias significativas respecto a todos los tratamientos, evidenciando que los tratamientos T3 (17,25cm) y T4 (16,70cm) no presentaron diferencias significativas entre sí, los tratamientos T1 (12,92cm) Y T2 (10,80cm) presentaron diferencias significativas entre si y respecto a todos los tratamientos.

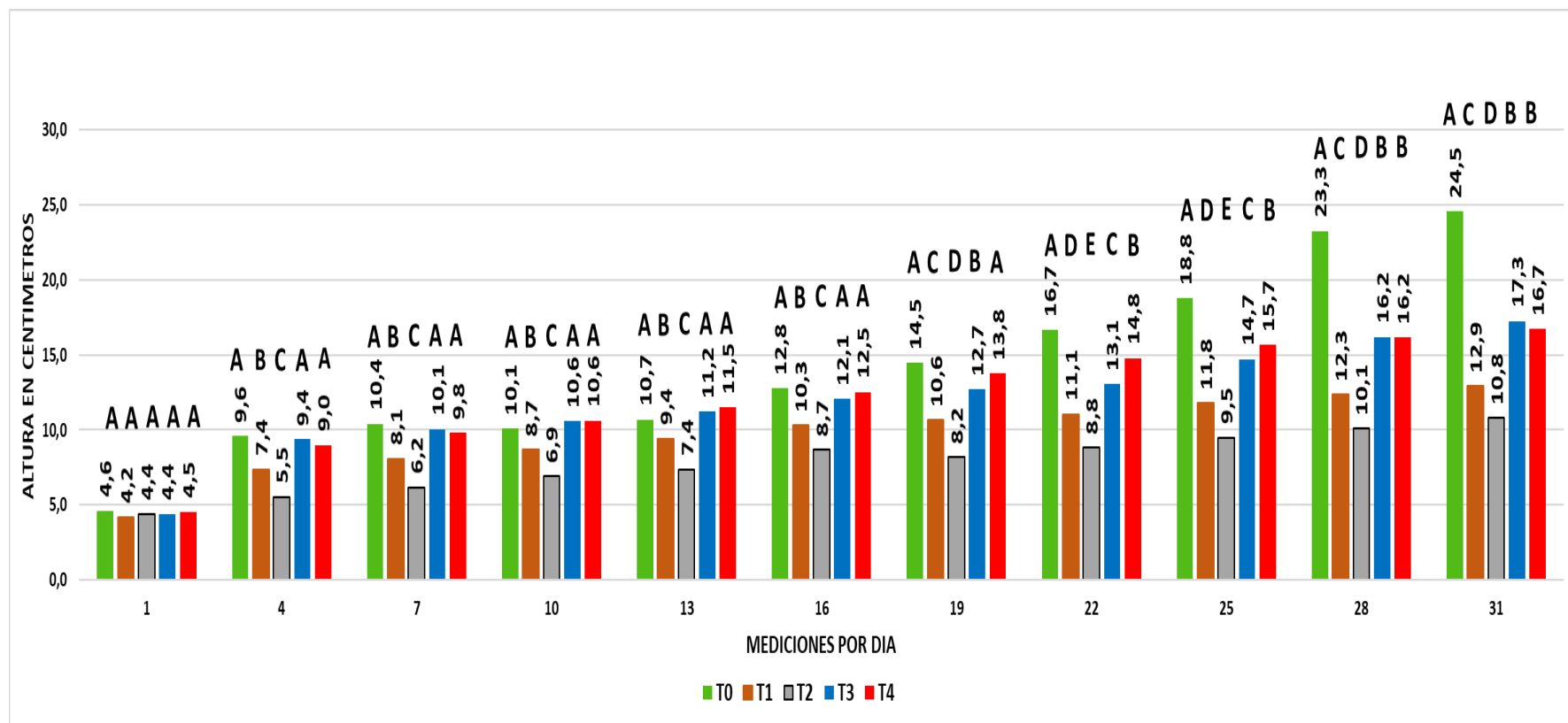


Figura 6. Altura máxima en centímetros en cada tratamiento.

4.7.2 Número de hojas. Inicialmente las plántulas no presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$); encontrando diferencias significativas ($P < 0,05$) a partir del día trece (13), el tratamiento T2 (4) presento los resultados más bajos, observando diferencias significativas respecto a los otros tratamientos, evidenciando que los tratamientos T1 (4,81) y T3 (5,31) no presentaron diferencias significativas entre sí, los tratamientos T4 (5,75) y T0 (5,81) no presentaron diferencias significativas entre sí, pero respecto a todos los tratamientos si se evidenciaron.

En el día treinta y uno (31) se presenta diferencia significativa en todos los tratamientos, identificando que el mejor tratamiento fue el T0 (27,43), continuando con los tratamientos T3 (20,75), T4(17,81), T1 (12,25) y el resultado más bajo fue T2 (8,93).

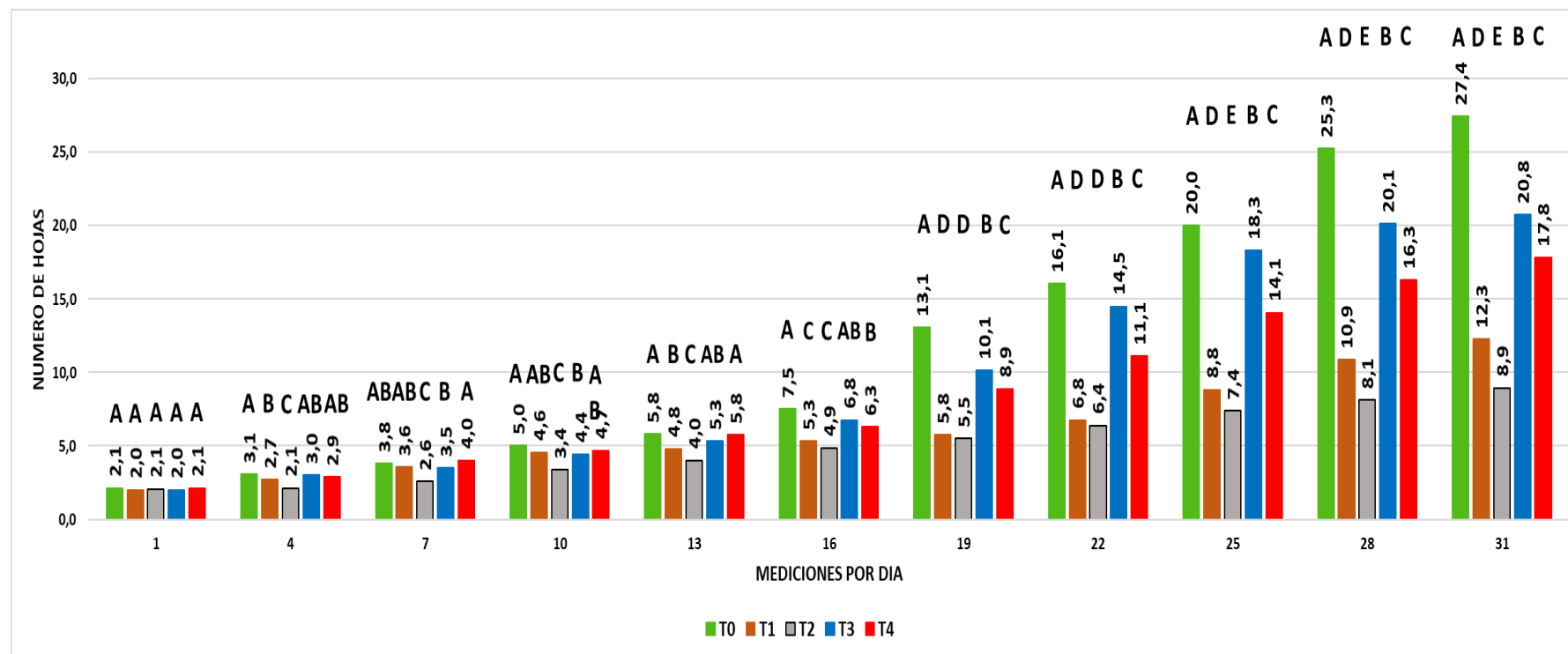


Figura 7. Numero de hojas en cada tratamiento.

4.7.3 Cantidad de agua utilizada. El gasto de agua en todos los tratamientos presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), los valores más altos se encontraron en el tratamiento T4 (104 L), seguido por los tratamientos T3 (98L), T0 (89L), T1(63L), los valores más bajos se registraron en el T2 con (42L) siendo el que utilizo menos cantidad de agua. Lo que significa que, a mayor concentración de minerales la dificultad en la absorción del agua incrementa notoriamente, debido a la conductividad eléctrica y el pH.

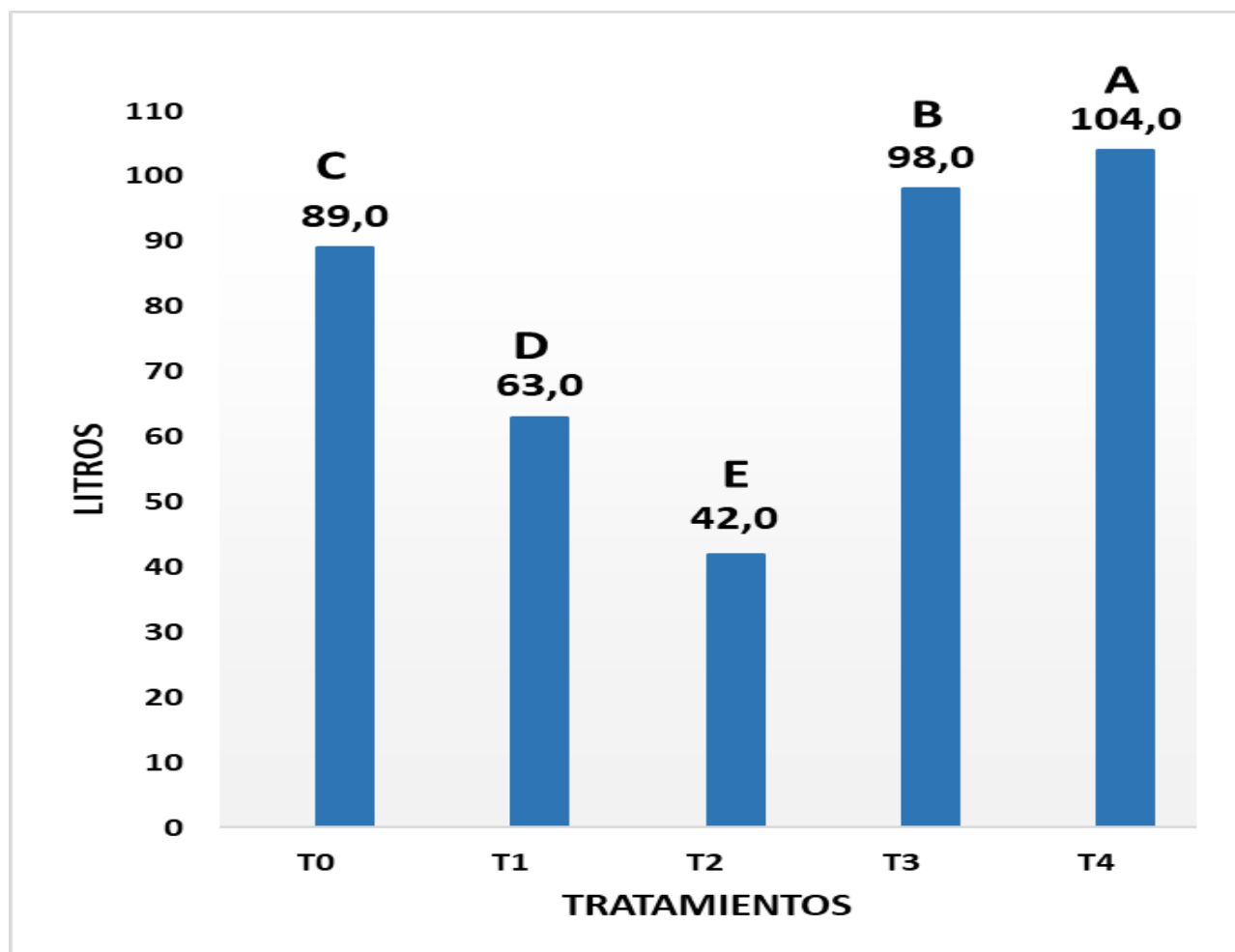


Figura 8. Uso de agua.

4.7.4 Temperatura del agua. La temperatura del agua no presento diferencias significativas ($P < 0,05$).

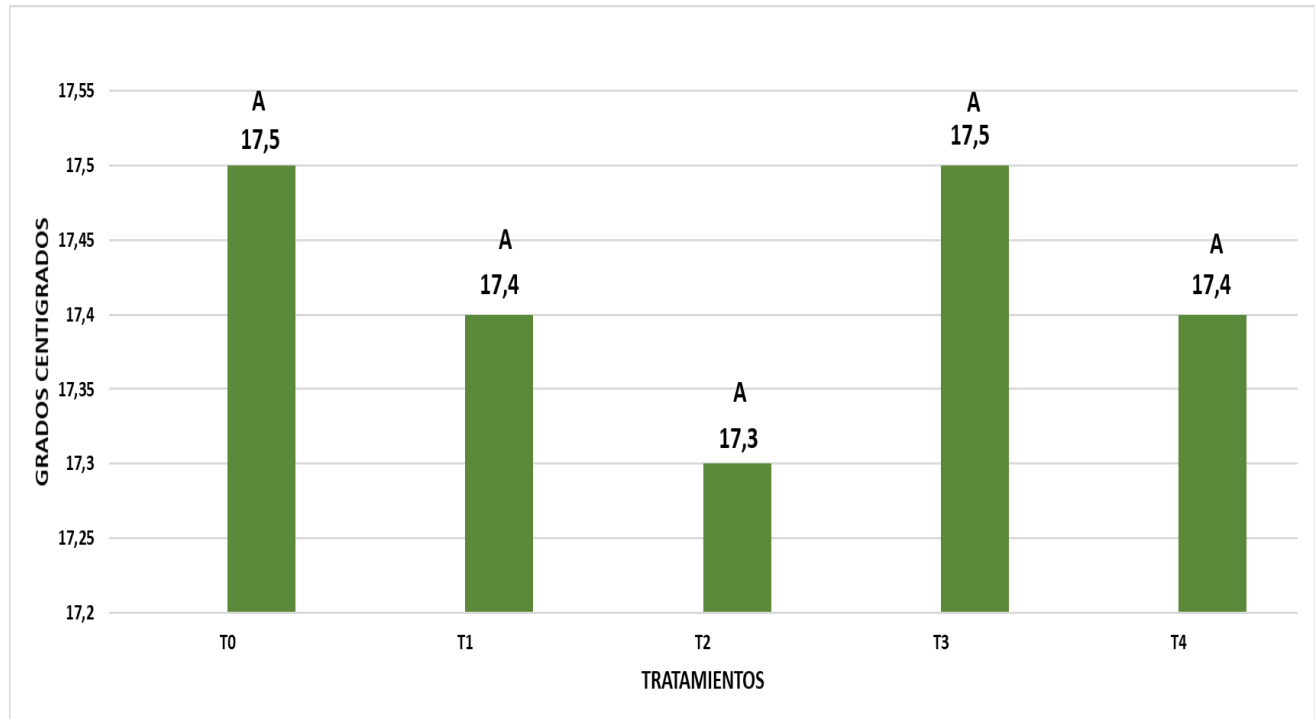


Figura 9. Temperatura del agua.

4.7.5 Conductividad eléctrica del agua. La conductividad eléctrica del agua tuvo un valor de 0,247 Milisiemens (mS).

4.7.6 pH del agua. El pH tuvo un valor de 8,22.

4.7.7 Temperatura del ambiente. La temperatura máxima del ambiente oscilo entre 20,1°C y 23,9 °C, mientras que la temperatura mínima registro valores entre 12,1 °C y 13,9 °C; presentando una temperatura promedio de 17,3°C.

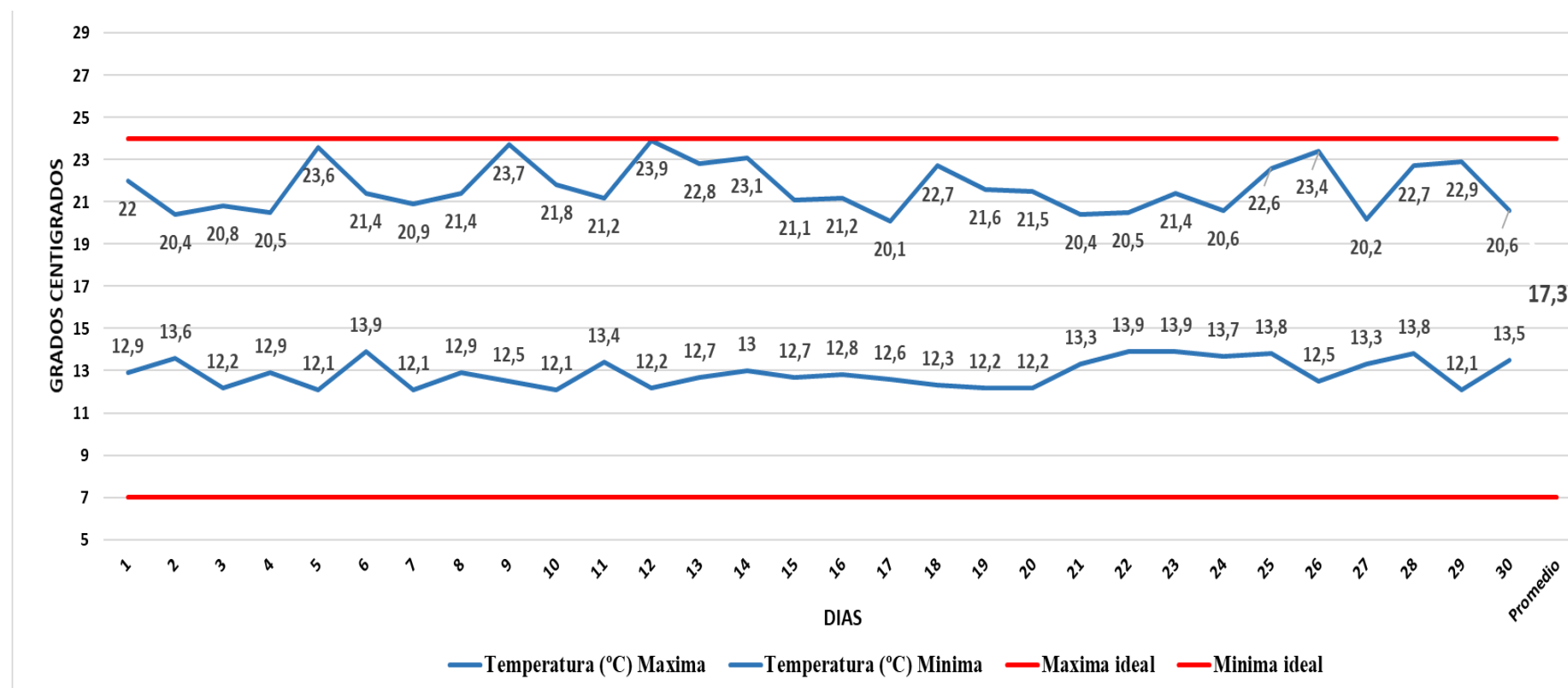


Figura 10. Temperatura del ambiente.

4.7.8 Humedad del ambiente. La humedad del ambiente oscilo entre los valores 48% y 62%, presentando una humedad relativa promedio del 56,1%.

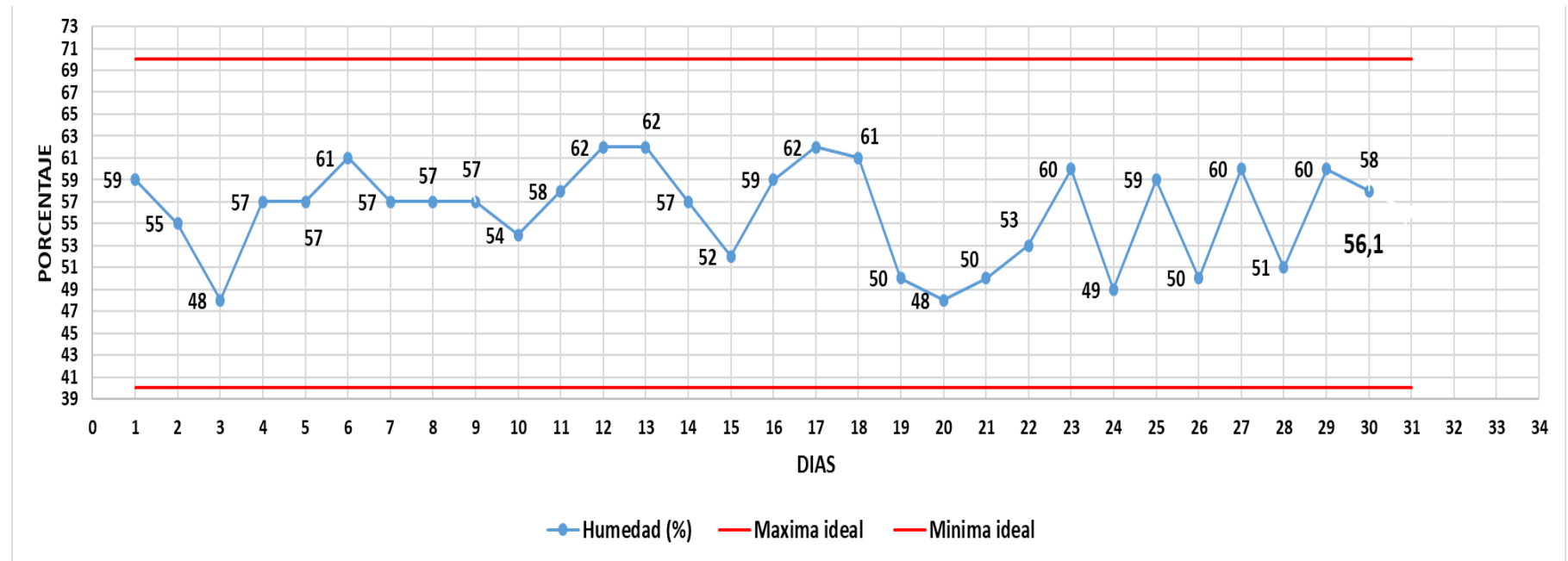


Figura 11. Humedad del ambiente.

4.7.9 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva. La conductividad eléctrica presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos, ya que esta tiene relación con la concentración de minerales presentes en la solución nutritiva. A mayor concentración de minerales mayor conductividad eléctrica. Debido a esto la solución nutritiva al inicio presento los valores más altos y al final los más bajos en todos los tratamientos.

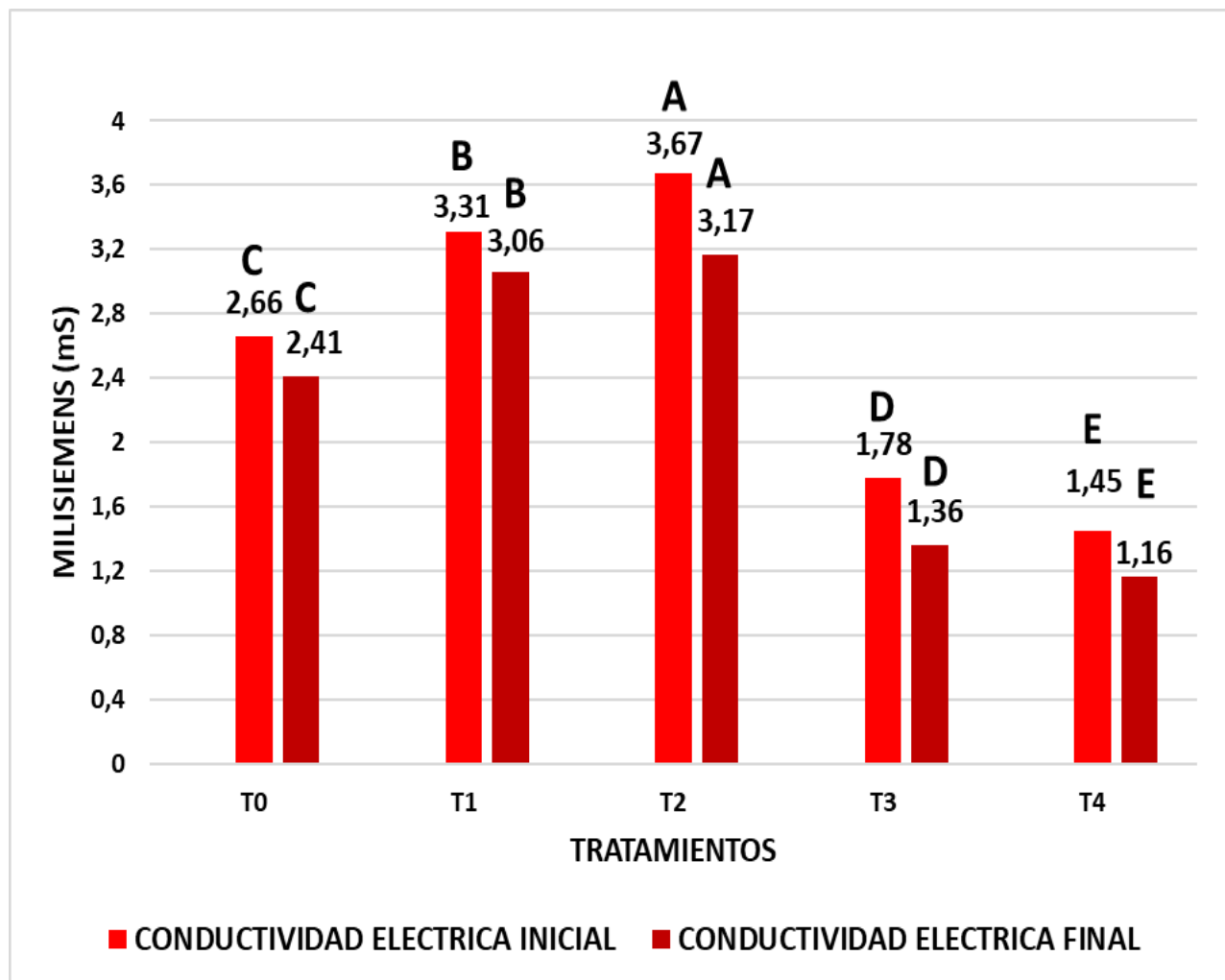


Figura 12. Conductividad eléctrica en cada tratamiento.

4.7.10 pH de la solución nutritiva. El pH presento diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos, ya que este tiene relación con la concentración de minerales presentes en la solución nutritiva. A mayor concentración de minerales menor pH. Debido a esto la solución nutritiva al inicio presento los valores más bajos y al final los más altos en todos los tratamientos.

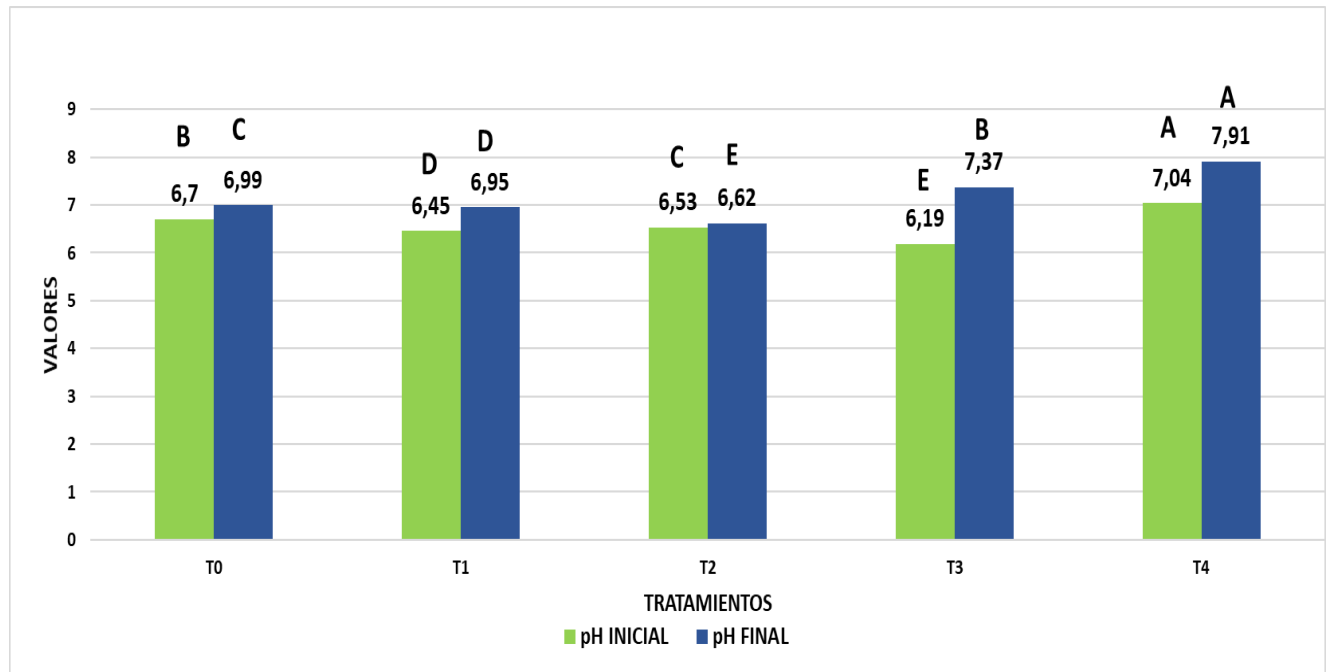


Figura 13. Nivel de pH en cada tratamiento.

4.8 Composición Química de la Especie *Lactuca sativa* Producida de Forma Hidropónica con cada Solución Nutritiva (*Cqf_{LS}*)

La composición química de la especie *Lactuca sativa* producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva, presento diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos, el tratamiento T0 fue el que presentó los valores más altos de minerales comparado con los otros tratamientos siendo el T2 el que presentó los niveles más bajos.

El sodio presentó valores en los tratamientos a pesar de que no fue balanceado, ya que el agua del municipio de Málaga Santander, en su composición química presentó niveles del mismo.

Tabla 13.

Composición química de la especie Lactuca sativa producida de forma hidropónica con cada solución nutritiva.

Mineral	Unidad	Tratamiento				
		T0	T1	T2	T3	T4
N	%	3,95 ^a	1,93 ^d	1,70 ^e	3,26 ^b	2,49 ^c
P	%	0,67 ^a	0,39 ^d	0,22 ^e	0,62 ^b	0,48 ^c
K	%	6,17 ^a	2,47 ^d	2,34 ^e	5,79 ^b	4,92 ^c
Ca	%	1,64 ^a	0,82 ^d	0,76 ^e	1,24 ^b	1,09 ^c
Mg	%	0,14 ^a	0,09 ^d	0,05 ^e	0,12 ^b	0,10 ^c
Na	%	0,06 ^a	0,03 ^d	0,01 ^e	0,04 ^c	0,05 ^b
S	%	0,23 ^a	0,12 ^d	0,08 ^e	0,19 ^b	0,16 ^c
Fe	mg*kg-1	242,75 ^a	119,23 ^d	112,57 ^e	221,90 ^b	205,10 ^c
Cu	mg*kg-1	10,21 ^a	5,09 ^d	4,96 ^e	8,93 ^b	7,36 ^c
Mn	mg*kg-1	8,23 ^a	3,70 ^d	3,49 ^e	7,51 ^b	5,41 ^c
Zn	mg*kg-1	52,63 ^a	27,28 ^d	26,87 ^e	49,40 ^b	35,57 ^c
B	mg*kg-1	30,89 ^a	15,01 ^d	14,29 ^e	27,12 ^b	21,64 ^c

4.9 Cuantificación de Materia Seca en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica

La cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma hidroponía presento diferencias estadísticas ($P < 0,05$), el tratamiento T0 registró los mejores valores teniendo una diferencia significativa respecto a todos los tratamientos.

El porcentaje de materia seca (%Ms) no presento diferencias significativas en los tratamientos, encontrando que los contenidos de humedad no fueron alterados por las concentraciones de minerales en las soluciones nutritivas.

Tabla 14.

Cuantificación de materia seca en las plántulas producidas de forma hidropónica.

Tratamiento	P_{Ls}	P_N	Ms
	(g)		(%)
T0	348,83 ^a	29,125 ^a	8,35 ^a
T1	111,5775 ^d	8,4625 ^d	7,59 ^a
T2	39,23 ^e	2,7875 ^e	7,11 ^a
T3	238,2775 ^b	18,155 ^b	7,62 ^a
T4	197,6325 ^c	14,2725 ^c	7,2225 ^a
CV	4,78	6,55	18,86

Nota: *CV: Coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

4.10 Contenido Foliar de las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (C_f)

El contenido foliar presento diferencias estadísticas ($P < 0,05$), el tratamiento T0 en todos los minerales sobresalió con el más alto contenido foliar teniendo una diferencia significativa con los demás tratamientos.

Los tratamientos T3 y T4 no presentaron diferencias significativas en el contenido foliar para los minerales Na y Mn, pero en los demás minerales si presentaron diferencias significativas, sin embargo, todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre sí.

El tratamiento T2 evidencio los valores más bajos en el contenido foliar, dado que al aumentar la concentración de minerales presentes en la solución nutritiva del tratamiento T0, las plántulas presentaban una posible intoxicación o una alta concentración de minerales impidiendo su absorción, para los valores menores a la concentración de minerales en la solución nutritiva del tratamiento T0, al ser disminuidas se presentó un déficit en la disponibilidad de nutrientes.

Tabla 15.
Contenido foliar de las plántulas producidas de forma hidropónica (C_f).

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(g/planta)											
T0	1,150 ^a	0,195 ^a	1,797 ^a	0,477 ^a	0,040 ^a	0,0174 ^a	0,0669 ^a	0,0070 ^a	0,00030 ^a	0,0002397 ^a	0,00153 ^a	0,00089 ^a
T1	0,163 ^d	0,033 ^d	0,209 ^d	0,069 ^d	0,007 ^d	0,0025 ^c	0,0101 ^d	0,0010 ^d	0,000042 ^d	0,0000313 ^c	0,00023 ^d	0,00012 ^d
T2	0,047 ^e	0,006 ^e	0,065 ^e	0,021 ^e	0,001 ^e	0,0002 ^d	0,0022 ^e	0,0003 ^e	0,000015 ^e	0,0000097 ^d	0,00007 ^e	0,00003 ^e
T3	0,591 ^b	0,112 ^b	1,051 ^b	0,225 ^b	0,021 ^b	0,0072 ^b	0,0344 ^b	0,0040 ^b	0,000162 ^b	0,0001363 ^b	0,00089 ^b	0,00049 ^b
T4	0,355 ^c	0,068 ^c	0,702 ^c	0,155 ^c	0,014 ^c	0,0071 ^b	0,0228 ^c	0,0029 ^c	0,000105 ^c	0,0000772 ^b	0,00050 ^c	0,00030 ^c
CV	2,53	2,58	2,53	2,47	2,54	2,12	2,46	2,54	2,58	2,61	2,70	2,58

Nota: *CV: Coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

4.11 Contenido de Proteína en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (*Prot1*)

La producción de proteína por planta presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos, la mayor cantidad de proteína se registró en el tratamiento T0 (7,2g), seguido por los tratamientos T3 (3,7g), T4 (2,2g), T1 (1,0g) y los valores más bajos se obtuvieron en el tratamiento T2 (0,3g), mostrando una alta correlación con el contenido foliar.

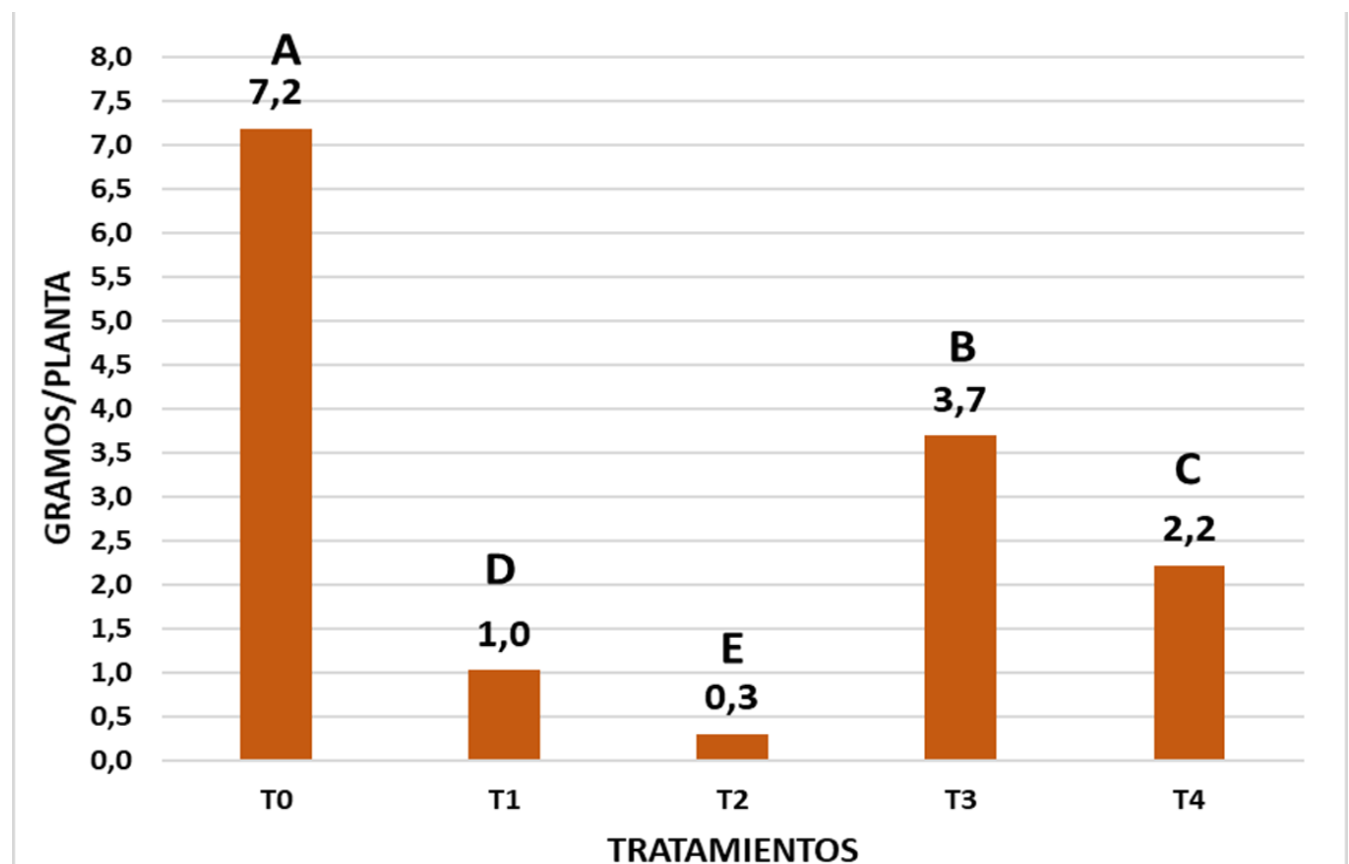


Figura 14. Proteína en cada tratamiento.

4.12 Eficiencia en la Fertilización en las Plántulas Producidas de Forma Hidropónica (*Ef*)

La eficiencia en la fertilización presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), el tratamiento T0 en todos los minerales presentó las mayores eficiencias en la fertilización teniendo una diferencia significativa con todos los tratamientos debido a que la concentración de minerales en la solución nutritiva le permitió tener la mejor absorción de los mismos.

Los tratamientos T3 y T4 no presentaron diferencias significativas en la eficiencia de la fertilización en los minerales K, Mg y S, pero en los demás minerales si presentaron diferencias significativas, sin embargo, todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre sí. El tratamiento T2 evidencio los menores valores en la eficiencia de la fertilización.

Tabla 16.

*Eficiencia en la fertilización en las plántulas producidas de forma hidropónica (*Ef*).*

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(%)										
T0	93,93 ^a	96,15 ^a	92,03 ^a	92,86 ^a	97,08 ^a	91,17 ^a	94,58 ^a	99,12 ^a	95,88 ^a	90,17 ^a	97,26 ^a
T1	10,67 ^d	13,01 ^d	8,56 ^c	10,79 ^d	14,51 ^c	11,06 ^c	10,79 ^d	11,49 ^d	9,63 ^d	10,74 ^d	11,05 ^d
T2	2,58 ^e	2,01 ^e	2,23 ^d	2,75 ^e	2,21 ^d	2,02 ^d	2,80 ^e	3,07 ^e	2,59 ^e	2,91 ^e	2,85 ^e
T3	64,43 ^b	73,94 ^b	71,78 ^b	58,36 ^c	69,16 ^b	62,60 ^b	71,62 ^c	72,06 ^b	68,17 ^b	70,34 ^b	70,34 ^b
T4	58,04 ^c	67,51 ^c	71,93 ^b	60,49 ^b	67,96 ^b	62,14 ^b	78,06 ^b	70,03 ^c	61,77 ^c	59,73 ^c	65,02 ^c
CV	2,48	2,55	2,51	2,35	2,46	2,42	2,45	2,49	2,50	2,62	2,51

Nota: *CV: Coeficiente de variación. Medias en columnas seguidas por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$), prueba de rangos múltiples de Duncan.

4.13 Análisis Económico

4.13.1 Costo del fertilizante *CosFer*. El costo del fertilizante fue el siguiente:

Tabla 17.

Costo del fertilizante para un kilogramo (1 kg).

Fertilizante	Valor en pesos
Nitrato de calcio	1450
Nitrato de potasio	3600
Sulfato de magnesio	1400
Sulfato de potasio	3400
Foss 61	16000
Quelato de zinc	35000
Quelato de hierro	35000
Quelato de cobre	35000
Quelato de manganeso	35000
Borax	7000
Urea	5000

4.13.2 Costo del fertilizante aplicado CFa. El costo del fertilizante aplicado presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos, el mayor costo se registró en el tratamiento T2 (46,46 pesos), seguido por los tratamientos T1 (38,71 pesos), T0 (30,97 pesos), T3 (23,23 pesos) y el menor costo se obtuvo en el tratamiento T4 (15,49 pesos) pero sus resultados en producción de biomasa, contenido foliar, contenido de proteína, y eficiencia de la fertilización fueron inferiores comparado con el tratamiento T0 (30,97 pesos), el cual dio los mejores resultados en dichas variables.

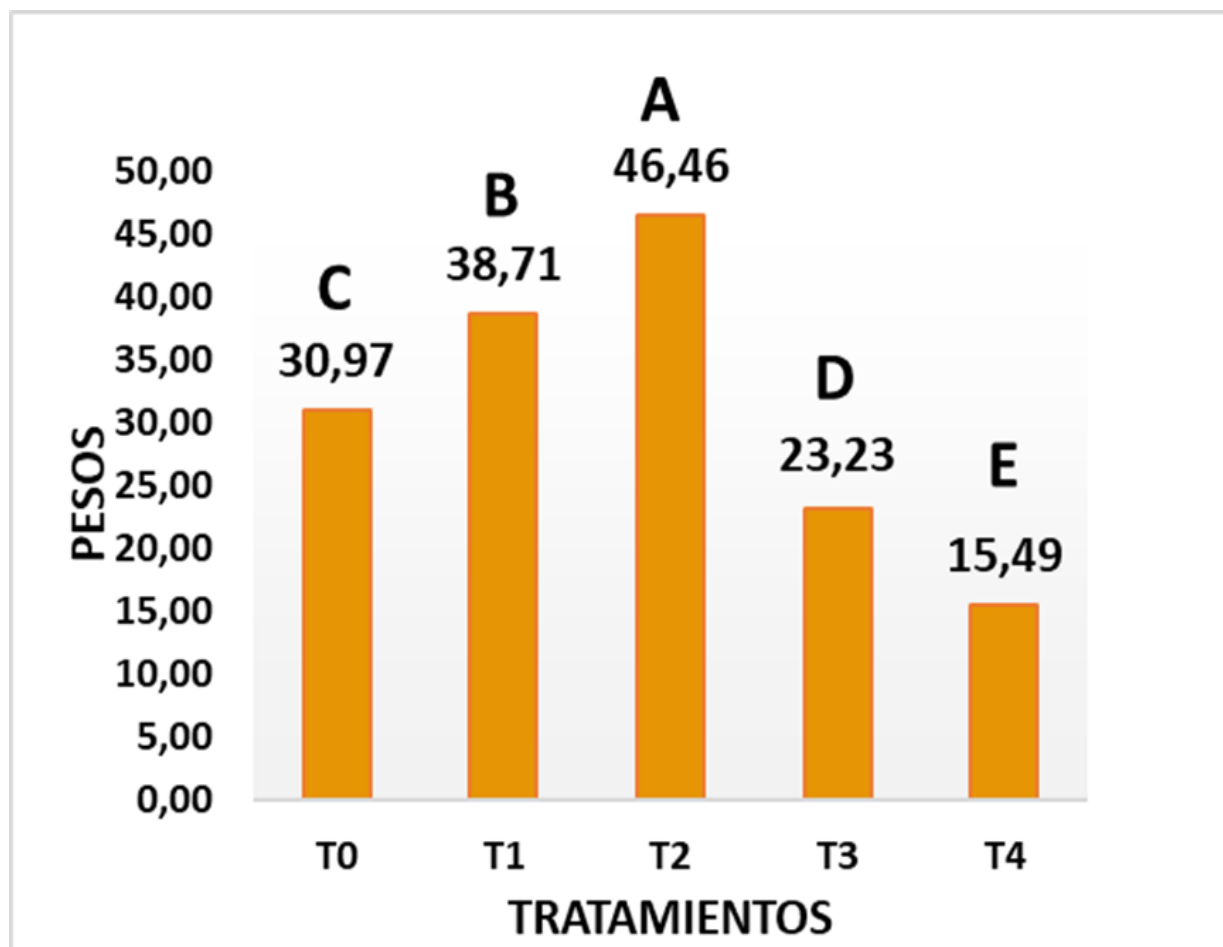


Figura 15. Costo de fertilización.

4.13.3 Costo de producción para un kilogramo de *Lactuca sativa* CosPro1kg. El costo de producción para un kilogramo de *Lactuca sativa* presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), el tratamiento que mayor costo registro fue el T2 (1192,97 pesos), presentando diferencias significativas con los demás tratamientos, seguido por el tratamiento T1 (348,18 pesos) el cual también presentó diferencias significativas con los demás tratamientos, los tratamientos T3 (97,49 pesos), T0 (88,79 pesos) y T4 (78,37 pesos) no presentaron diferencias significativas entre sí. Sin embargo, la producción en los tratamientos T3 y T4 fue muy baja lo cual no amerita su implementación. Por lo tanto, el tratamiento T0 es el que tiene una mejor entre el costo y la producción.

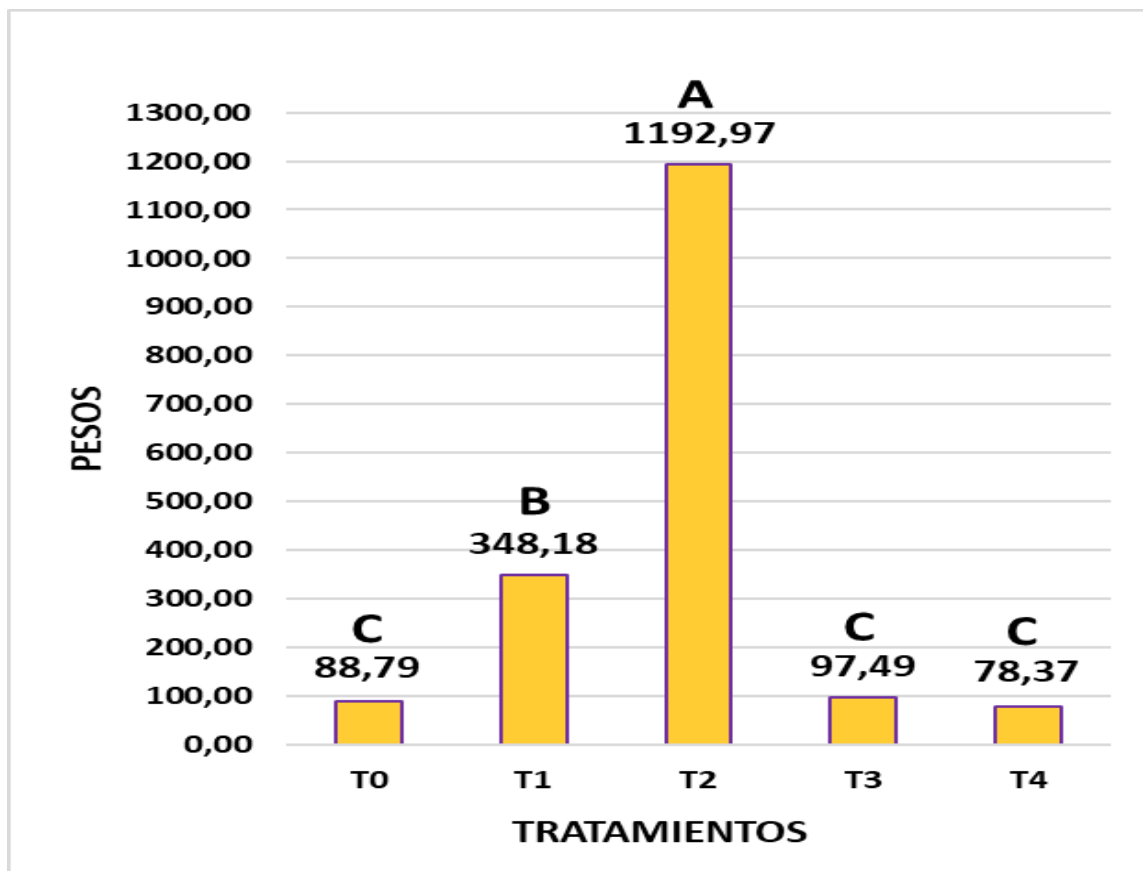


Figura 16. Costo de producción.

5 Discusión

Los estudios realizados por Figueroa e Izquierdo (2003) presentan efectividad en el aprovechamiento de los espacios sin uso en los hogares, siendo fuente potencial en la generación de recursos económicos, productos alimenticios para su propio consumo y la facilidad en la reutilización del agua. Por medio de esta investigación, se ratificó lo postulado anteriormente, ya que todos los espacios pueden llegar a ser altamente productivos como lo fue el espacio utilizado en esta investigación, también logrando un uso eficiente y consiente del agua por medio de su reutilización. Como también los postula Sastoque, Ramírez y Alzate (2005) quienes se enfocan en la agricultura urbana.

Según Penningsfeld y Kurzman (1993) este tipo de agricultura mejora la calidad, cantidad y productividad, además de la reducción en la mano de obra. Con la presente investigación se comprueba lo expuesto por los autores, ya que en el cultivo de *Lactuca sativa*, los resultados evidenciaron mejoras en la calidad puesto que los contenidos foliares de las plántulas presentaban mayores valores en la concentración de los minerales, en cuanto a productividad se lograron obtener plántulas completamente formadas a los treinta y un (31) días.

Según Casaca (2005) los cultivos hidropónicos presentan diferentes tipo de plagas; sin embargo, en esta investigación la presencia y manejo de plagas no fue necesaria, evitando la aplicación de insecticidas o químicos que combatieran dichas afectaciones, garantizando plantas óptimas para el consumo por su bajo grado de contaminación y alto aporte alimenticio, además se logra un uso racional del agua por medio de la reutilización de la solución nutritiva, ratificando lo expuesto por Alvarado, Cepeda, Blanco, Ojeda y Martínez (2009) quienes afirman que la hidroponía presenta muchas ventajas en comparación a la agricultura tradicional.

Según Ladino, Solano y Obando (2016) afirman que los problemas por malezas en hidroponía se consideran nulos, gracias a la esterilización entre cultivos, la cual evita la presencia de algas. En la presente investigación no se dieron problemas por algas o malezas lo cual ratifica lo anteriormente expuesto.

Beltrano y Gimenez (2015) indican que las soluciones nutritivas deben tener un nivel adecuado de oxígeno disuelto, nutrientes, conductividad eléctrica y pH, para obtener una producción eficiente. En la presente investigación, el tratamiento que mejor cumple con estos requerimientos es el tratamiento T0, el cual presentó una eficiente producción, logrando afirmar lo expuesto por los autores.

Para Huterwal (1991) las soluciones nutritivas pueden ser preparadas por los agricultores o compradas en el comercio. Acertando con esta investigación en dicha teoría, haciendo referencia a la preparación de las soluciones, ya que de esta manera se tiene certeza del balance y las condiciones ideales que se le dan la planta.

En la presente investigación el laboratorio arrojó doce minerales que componen la planta químicamente, para las plántulas de *Lactuca sativa* cultivadas hidropónicamente y tradicionalmente no hubo presencia de molibdeno en los laboratorios de análisis de tejido vegetal completo, no obstante, no se asegura que este elemento no sea importante para el desarrollo de la planta, ya que lo postulado por Sánchez y Escalante (1988) demuestra la presencia de molibdeno, incluyéndolo en el balance de la solución nutritiva.

Lo postulado por Barry (1997) indica que las soluciones nutritivas deben ser formuladas para la etapa de desarrollo en la que se encuentre el cultivo, la cantidad de mineral suministrado debe ser medido en unidades de partes por millón (ppm) o en miligramos sobre litro (mg/L). La presente investigación tuvo en cuenta las unidades de medida, puesto que son las que facilitan el balance

de los minerales en las soluciones nutritivas, sin embargo, la formulación de las mismas no se realizó para cada etapa de desarrollo del cultivo, encontrando resultados similares a los postulados por el autor.

En la presente investigación se registraron los datos de altura de la planta y número de hojas cada tres días, ya que el cultivo no presentaba cambios relevantes diariamente, sin tener en cuenta lo analizado por Uribarri, Sadaba, Aguado, y Del Castillo (2008) el cual postula el registro de mediciones diarias en dichas variables.

De acuerdo con Aguilar y Trelles (2015) las condiciones óptimas de temperatura en el agua deben estar entre los 7° C hasta los 24 °C y con un rango de pH de 6,0 a 6,8 en el agua, alcanzando una máxima producción a los 45 días después del trasplante. La presente investigación registró una temperatura promedio en el agua de 17 °C y un rango en el pH que osciló entre los 6,19 y 7,91 en los diferentes tratamientos, por ende, se afirma que dichos rangos son favorables para el desarrollo de la *Lactuca sativa*. En la presente investigación se encontró una efectividad en la fertilización de más del 90%, con una reutilización de las soluciones nutritivas dentro de un sistema con tubos de PVC perforados cada 20 cm, ratificando lo postulado por Peralta y Morales (2014) quienes en la Universidad de la Molina en Perú utilizaron tubos de PVC con la misma distancias en las perforaciones, dando como resultado un valor elevado en la absorción de los minerales por medio de la reutilización de las soluciones nutritivas.

Según Arcos, Benavides, y Rodríguez (2011) implementando soluciones nutritivas comerciales a diferentes concentraciones, obtuvieron un número de hojas máximo de 24,25 en promedio y altura máxima de 18,97 cm en promedio valores inferiores a los de la presente investigación, en la cual se obtuvo un número de hojas máximo de 27,44 en promedio y altura máxima de 24,5 cm en promedio.

6 Conclusiones

El efecto de la concentración de minerales en la solución nutritiva determino que el tratamiento que mejores resultados presento en la producción de biomasa fue el T0, debido a que los valores inferiores (T3 y T4) y superiores (T1 y T2) en la concentración de minerales presentaron niveles de biomasa inferiores; para los valores inferiores, se determinó una posible deficiencia en la cantidad de minerales presentes en la solución nutritiva y para los valores superiores, se terminó una posible intoxicación por la cantidad de minerales presentes o incapacidad en la absorción de la solución nutritiva. Demostrando que las plántulas de *Lactuca sativa* presentaron alta sensibilidad en la concentración de nutrientes de las soluciones nutritivas.

El contenido foliar y la calidad nutricional, presentó disminuciones en los tratamientos (T1, T2, T3 y T4), evidenciando que la concentración de minerales en las soluciones nutritivas se altera para los valores inferiores y superiores; por otra parte, el tratamiento T0 presentó los mejores resultados en los minerales analizados para el contenido foliar y la calidad nutricional, por consiguiente, fue el que obtuvo los valores más altos en proteína.

El tratamiento que presento mejor producción de biomasa respecto al costo de los fertilizantes aplicados fue el T0, algunos tratamientos (T3 y T4) presentaron costos similares, pero con valores inferiores en la producción de biomasa, teniendo en cuenta que las plántulas producidas tenían un menor peso húmedo y seco.

La mejor eficiencia en la fertilización se presentó en el tratamiento T0 evidenciando la mejor absorción de minerales, demostrando que la solución nutritiva ideal para el cultivo hidropónico de *Lactuca sativa* podría tener valores similares o iguales a la concentración de minerales de dicho tratamiento.

7 Recomendaciones

Se recomienda la implementación de los sistemas hidropónicos en las zonas urbanas y peri-urbanas dados los resultados de la presente investigación; no obstante, se recomienda que el agricultor tradicional logre mejorar sus procesos de producción con la finalidad de tener una agricultura más controlada y productiva, dada las condiciones climáticas actuales tan cambiantes.

Se sugiere que la agricultura tradicional de la región debe tecnificarse con la finalidad de mejorar los proceso de fertilización, implementando metodologías de la hidroponía como el balance de minerales, basándose en los requerimientos nutricionales de la planta por medio de los laboratorios de extracción de tejido vegetal y composición mineralógica del suelo, para tener una eficiencia en la fertilización sin recurrir en el desperdicio de fertilizantes los cuales conllevan a un aumento en el costo de la producción y por ende una menor ganancia.

La hidroponía logro maximizar el espacio de producción mejorando la productividad por unidad de área en zonas urbanas, se sugieren investigaciones para el ámbito rural con el fin de comprobar si dicha productividad se comporta de igual manera en producciones a gran escala en el ámbito agrícola.

Se recomienda que las soluciones nutritivas sean balanceadas teniendo en cuenta las condiciones de sitio, ya que las soluciones nutritivas comerciales no logran tener en cuenta algunas variables propias del sitio como lo son el pH del agua y la composición química del agua.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, A. R., & Trelles, A. Z. (2015). Crecimiento de goldish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero. *Revista REBIOLEST*, vol 2(2), 76-88. Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/755/679>.
- Arcos, B., Benavides, O., y Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol 28(2), 95-108. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104092>.
- Arredondo, R., & Martín, N. (2015). *Evaluación de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el Centro Experimental de Coca Cota, La Paz* (tesis Pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia).
- Barry, C., (1997). *Hidroponía, Soluciones Nutritivas*. Buenos Aires: Boletín hortícola. Recuperado de: <http://boletinhorticolalaplata.blogspot.com/2010/06/articulos-cientificos-hidroponia.html>.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2014). Experiencia de producción de lechuga americana (*Lactuca sativa*) hidropónica, tipo NFT. *Revista Tecnología en Marcha*, vol (27), 56-64. Recuperado de: http://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/view/2015/1828.
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 1731 31 de Julio de 2014, Diario Oficial No. 49229 (2014).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 1450 16 de Junio de 2011., Diario Oficial No. 48.102 , (2011).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 811 26 de Junio de 2003, Diario Oficial No. 45.236 (2003).
- Bogota, D.C, Congreso de Colombia Ley 731 14 de Enero de 2002. Diario Oficial No. 44.678 (2002).
- Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 29 27 de Febrero de 1990, Diario Oficial No. 39.205 (1990).

Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 99 22 de Diciembre de 1993, Diario Oficial No. 41.146 (1993).

Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 101 23 de Diciembre de 1993, Diario Oficial No. 41.149 (1993).

Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 618 06 de Octubre de 2000 Diario Oficial No. 44.188 (2000).

Bogotá, D.C, Congreso de Colombia Ley 822 10 de Julio de 2003, Diario Oficial No. 45.244 , (2003).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 842 09 de Octubre de 2003, Diario Oficial No. 45.340 (2003).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 960 28 de Junio de 2005, Diario Oficial No. 45.954 (2005).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 1155 20 de Septiembre de 2007, Diario Oficial No. 46.757 (2007).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 1159 20 de Septiembre de 2007, Diario Oficial No. 46.757 (2007).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 1196 05 de Junio de 2008, Diario Oficial No. 47.011 (2008).

Bogotá D.C, Congreso de Colombia Ley 1351 13 de Agosto de 2009, Diario Oficial No. 47.409 (2009).

Carrasco Silva, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (" NFT")*. Recuperado de: <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/2927/1/NFT.pdf>.

Casaca, A., (Marzo, 2005). Cultivo de Lechuga. *Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Proyecto Modernización de los Servicios de Tecnología Agrícola PROMOSTA*, vol (2) pp. 22. Recuperado de: <http://gamis.zamorano.edu/gamis/es/Docs/hortalizas/lechuga.pdf>.

Chavez, Rangel, Benavides. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/305280176_Manual_para_la_preparacion_de_soluciones_nutritivas.

Dehollain, P. L. (1995). Concepto y condicionantes de la seguridad alimentaria en hogares. *Revista agroalimentaria*, vol 1(1), 4. Recuperado de:

- https://scholar.google.com.mx/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Dehollain%2C+P.+L.+%281995%29.+Concepto+y+condicionantes+de+la+seguridad+alimentaria+en+hogares.+Revista+agroalimentaria%2C+1%281%29%2C+4.&btnG=.
- Díaz, G. G. (2004). *Hidroponía en casa: una actividad familiar*. Recuperado de: https://www.academia.edu/4879599/Ministerio_de_Agricultura_y_Ganader%C3%ADa_Sistema_Unificado_de_Informaci%C3%B3n_Institucional_HIDROPON%C3%8DA_EN_CASA_Una_actividad_familiar.
- Figuerola Vera, J., & Izquierdo, J. (2003). *Agricultura Urbana en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: estudios de casos sobre empresas hidropónicas familiares*. Recuperado de: <http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/2930/1/agrourb.pdf>.
- Gavilán, M. U. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Recuperado de: [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=5NE9CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Gavil%C3%A1n,+M.+U.+\(2015\).+Manual+pr%C3%A1ctico+del+cultivo+sin+suelo+e+hidropon%C3%ADa.+Madrid,+Espa%C3%B1a:+Ediciones+Paraninfo,+SA.&ots=VdcTGOxFxP&sig=PTXAJ-wd5GbgT-F5IWQugWbTDiQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=5NE9CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Gavil%C3%A1n,+M.+U.+(2015).+Manual+pr%C3%A1ctico+del+cultivo+sin+suelo+e+hidropon%C3%ADa.+Madrid,+Espa%C3%B1a:+Ediciones+Paraninfo,+SA.&ots=VdcTGOxFxP&sig=PTXAJ-wd5GbgT-F5IWQugWbTDiQ#v=onepage&q&f=false).
- Ladino, J. J., Solano, O. I., & Obando, D. E. (2016). *Estudio de factibilidad del diseño y montaje de sistemas de cultivos hidropónicos de lechuga en conjunto residencial Okapi II en la ciudad de Bogotá*. (Trabajo de Grado). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, D.C.
- Penningsfeld, F.; Kursmann, P., (1993). *Cultivos Hidropónicos y en Turba*. Recuperado de: <https://www.agricolajerez.com/es/product/cultivos-hidroponicos-y-en-turba>.
- Rodríguez Zárate, V. i. c. e. n. t. e., Gonzalez Fuentes, J. A. D. A., Bañuelos Herrera, L. D., & Rascón Alvarado, e. d. (2018). *Evaluación de Sustratos en la Producción del Cultivo de Fresa Establecido en el Sistema NGS®(New Growing System)* (Tesis de pregrado). Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Sastoque, M. J. M., Ramírez, L., & Alzate, A. (2005). La práctica de la agricultura urbana como expresión de emergencia de nuevas ruralidades: reflexiones en torno a la evidencia empírica. *Revista cuadernos de desarrollo rural*, vol 2(55), 51-70. Recuperado de: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1243>.
- Sánchez, F; Escalante, E., (1988). *Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo*. Recuperado de: <https://www.worldcat.org/title/sistema-de-produccion-de-plantas-hidroponia-principios-y-metodos-de-cultivo/oclc/33420704>.
- Salazar. (2001). *Historia de la hidroponia y de la nutricion vegetal*, Bogotá, D.C: Dr. Calderón Laboratorios Ltda. Recuperado de: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm.

- Ticona, B. (2018). *Uso eficiente de agua con dos soluciones nutritivas hidropónicas sobre el rendimiento de forraje verde en cebada y avena* (Tesis Postgrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Uribarri, A., Sadaba, S., Aguado, G., y Del Castillo, J. A., (Marzo, 2010). Cultivo Hidropónico de Lechuga. *Horticultura global*, vol (3), 289. Recuperado de <https://docplayer.es/20923731-Cultivo-hidroponico-de-lechuga.html>.
- Vázquez-Alvarado, R. E., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F., Ojeda-Zacarías, M. D. C., & Martínez-López, J. R. (2009). *Producción hidropónica de nopal verdura*. VIII Simposio-Taller Nacional y 1er. Internacional de “Producción y Aprovechamiento del Nopal, México. Recuperado de: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43202592/PRODUCCIN_HIDROPONICA_DE_NOPAL_VERDURA20160229-25351-q6y39i.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553746800&Signature=RapTQ05RA1gBa6AtGaLZIBlt2u0%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DProduccion_Hidroponica_De_Nopal_Verdura.pdf.

Apéndices

Apéndice 1. Primer día de producción.



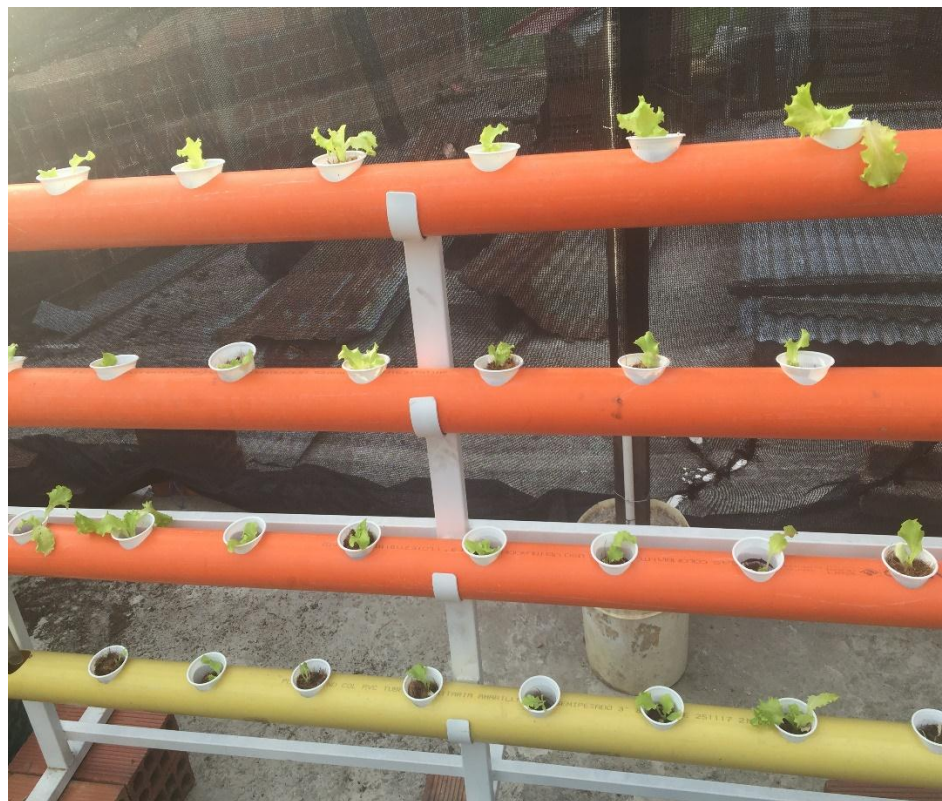
Apéndice 2. Tratamiento T4 en el día tres.



Apéndice 3. Tratamiento T3 en el día tres.



Apéndice 4. Tratamiento T2 en el día tres.



Apéndice 5. Tratamiento T0 en el día tres.



Apéndice 6. Tratamiento T1 en el día tres.



Apéndice 7. Tratamiento T4 en el día dieciocho.



Apéndice 8. Tratamiento T3 en el día dieciocho.



Apéndice 9. Tratamiento T2 en el día dieciocho.



Apéndice 10. Tratamiento T0 en el día dieciocho.



Apéndice 11. Tratamiento T1 en el día dieciocho.



Apéndice 12. Tratamiento T4 en el día treinta.



Apéndice 13. Tratamiento T3 en el día treinta.



Apéndice 14. Tratamiento T2 en el día treinta.



Apéndice 15. Tratamiento T0 en el día treinta.



Apéndice 16. Tratamiento T1 en el día treinta.



Apéndice 17. Todos los tratamientos en el día treinta.



Apéndice 18. Pesaje de muestras húmedas.



Apéndice 19. Pesaje de muestras secas.*Apéndice 20. Secado de muestras.*

Apéndice 21. Medición de conductividad y pH.



Apéndice 22. Pesaje de fertilizantes.



Apéndice 23. Semilla de *Lactuca sativa*.



Apéndice 24. Siembra de la semilla de *Lactuca sativa*.



Apéndice 25. Plántulas de *Lactuca sativa* listas para trasplantar.



Apéndice 26. Invernadero.



Apéndice 27. Timer digital.



Apéndice 28. Tanques de almacenamiento.

