



UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del título
de Ingeniero Agrónomo

Título del Proyecto de Investigación:

“Cultivando lechuga (*Lactuca sativa L.*), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero”

Autor:

Víctor Alejandro Choez Morales

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Agr. Freddy Amores Puyutaxi M. Sc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Víctor Alejandro Choez Morales**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f.

Víctor Alejandro Choez Morales

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Freddy Marcelo Amores Puyutaxi**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Víctor Alejandro Choez Morales**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Cultivando lechuga (*Lactuca sativa L.*), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Agr. Freddy Amores Puyutaxi M. Sc.

DIRECTOR PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

URKUND ★ P

Documento	Proy. Inv. Víctor Choez 10.06.19.docx (D53699519)
Presentado	2019-06-10 15:51 (-05:00)
Presentado por	rgaibor@uteq.edu.ec
Recibido	rgaibor.uteq@analysis.orkund.com

5% de estas 17 páginas, se componen de texto presente en 8 fuentes.

URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Proy. Inv. Víctor Choez 10.06.19.docx (D53699519)
Submitted: 6/10/2019 10:51:00 PM
Submitted By: rgaibor@uteq.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

Proy. Inv. Llantén Santiago 10.08.2017.docx (D30068603)
LECHUGA HODROPONICA ANALIS URKUND.docx (D14307452)
Mafla, E. Tesis. UTB. FACIAG. 2015.pdf (D14949655)
FLORES RIVAS CESAR IVÁN 30.doc (D16473543)
TESIS PARTE 1.doc (D11595364)
https://www2.eez.csic.es/files/IIIPremioEEZ_ColegioAlqueria_Primeria.pdf
<https://www.hidroponiacasera.net/aeroponia-la-guia-basica/e56256d0-14c8-46dd-864e-4f828bd5de03>

Instances where selected sources appear:

14

Ing. Agr. Freddy Amores Puyutaxi M. Sc.

Director del Proyecto de Investigación



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título del Proyecto de Investigación:

“Cultivando lechuga (*Lactuca sativa L.*), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por:

Dr. Fernando Abasolo Pacheco
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TÉSIS

Ing. Manuel Jiménez Icaza M. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TÉSIS

Ing. Cesar Bermeo Toledo M. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TÉSIS

QUEVEDO – LOS RIOS- ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente por permitirme alcanzar esta meta que me propuse desde los inicios de mis estudios. En segundo lugar, a mi familia, a mi madre, a mi padre y hermana.

Mirian Morales mi madre, quien con esfuerzo y trabajo de muchos años supo apoyarme y educarme correctamente para ser la persona que soy actualmente.

A Pedro Macías, la persona quien considero como mi padre por haberme acogido como su hijo siendo un niño de apenas 6 años, y haberme entregado todo lo necesario para poder lograr esta meta alcanzada.

A los Ingenieros docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica los cuales impartieron sus conocimientos con responsabilidad, esfuerzo y dedicación para mi formación académica.

De manera especial a mi tutor el Ing. Freddy Amores Puyutaxi quien con su sabiduría y experiencia basta supo guiarme en mi trabajo de investigación de manera exitosa. Quien también me brindó su amistad, confianza y apoyo para cumplir mi objetivo.

Al decano de Facultad de Ciencias Agrarias Ing. Leonardo Matute por haberme dado la oportunidad y facilidad de realizar mi investigación dentro de la Universidad.

A mis compañeros de aula por haber compartido 5 años de sacrificio y dedicación para llegar a ser un profesional de la República.

Choez Morales Víctor Alejandro

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación está dedicado a Dios por estar presente en los buenos y malos ratos de mi vida. Por darme la oportunidad de tener una familia que siempre está brindándome su apoyo y cariño incondicional.

A mis padres Pedro Macías y Mirian Morales, mi hermana Jamilet Macías, a mi novia y futura esposa Maholi González quienes confiaron ciegamente en que podía cumplir este objetivo, por entregarme su apoyo en todo momento. Los amo y protejo con mi vida.

A mis abuelos que con su amor, cariño y comprensión me motivaron a superarme cada día.

A ellos dedico este proyecto, sin ellos no hubiera podido alcanzar mi meta propuesta.

Choez Morales Víctor Alejandro

RESUMEN EJECUTIVO

La fase de campo de la presente investigación donde se cultivó lechuga, una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial por sus característico sabor y color, utilizando de por medio sistemas hidropónicos que hacen que el manejo de este cultivo sea de manera orgánica, mediante la aplicación crecientes concentraciones nutritivas a nivel de invernadero. El objetivo fue evaluar el proceso productivo de la lechuga bajo condiciones de hidroponía con niveles variables de solución nutritiva bajo condiciones de invernadero. El estudio se realizó en un pequeño invernadero ensamblado con este fin, ubicado junto al edificio de la Facultad de Ciencias Agrarias, UTEQ. Los tratamientos estuvieron representados por tres concentraciones nutritivas que se distribuyeron en el invernadero según el diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por 16 plantas. Para evaluar el efecto de las soluciones nutritivas se registraron datos de las siguientes variables: número de plantas que no sobrevivieron al transplante, tasa de crecimiento radicular (cm/semana), longitud radicular a la cosecha (cm), número de hojas sanas a la cosecha, número total de hojas producidas (incluidas sanas y enfermas), longitud de hojas a la cosecha (cm), peso de raíz fresca (gramos), peso de raíz seca (gramos), peso de planta a la cosecha (gramos) y análisis económico cuya variable obtuvo mayor respuesta el T1 obteniendo ingresos brutos favorables y la relación beneficio costo mostró que las ganancias por cada dólar invertido es de \$ 0,34. Los resultados de las variables en evaluación revelaron que el crecimiento de la lechuga fue el mismo con cualquier concentración nutritiva, sin embargo se presentaron diferencias en variables como tasa de crecimiento radicular (cm/semana) con 1,37 cm el cual fue superior a los demás tratamientos que presentaron crecimiento de 0,97 a 1,10 cm por semana. La ausencia de diferencia estadística entre tratamientos indica que la solución más diluida en este caso el T1 (Concentración estándar), es suficiente para intentar el cultivo de lechuga hidropónica. Observaciones durante el estudio permiten sugerir la necesidad de un control minucioso de la temperatura y humedad ambiental en el invernadero, pues la lechuga es bastante sensible a la variación extrema de estos parámetros como pudo constatar en el estudio.

Palabras claves: lechuga, hidroponía, concentraciones crecientes.

SUMMARY

The field phase of this research where lettuce was grown, one of the most consumed vegetables worldwide for its characteristic taste and color, using hydroponic systems that make the management of this crop organic, by the application of increasing nutritive concentrations at greenhouse level. The objective was to evaluate the production process of lettuce under hydroponic conditions with variable levels of nutritional solution under greenhouse conditions. The study was carried out in a small greenhouse assembled for this purpose, located next to the building of the Faculty of Agricultural Sciences, UTEQ. The treatments were represented by three nutritious concentrations that were distributed in the greenhouse according to the completely random design with 3 repetitions. Each experimental unit consisted of 16 plants. To evaluate the effect of nutritional solutions, data were recorded for the following variables: number of plants that did not survive transplantation, root growth rate (cm/week), root length to harvest (cm), number of healthy leaves at harvest, total number of leaves produced (including healthy and sick), length of leaves at harvest (cm), weight of fresh root (grams), weight of dry root (grams), weight of plant at harvest (grams) and economic analysis whose variable got the most response the T1 getting favorable gross income and the cost benefit ratio showed that the earnings for each dollar invested is \$ 0,34. The results of the variables under evaluation revealed that the growth of lettuce was the same with any nutrient concentration, however differences in variables such as root growth rate (cm/week) were presented with 1,37 cm which was superior to the other treatments that showed growth of 0,97 to 1,10 cm per week. The absence of statistical difference between treatments indicates that the most diluted solution in this case T1 (Standard concentration) is sufficient to try the culture of hydroponic lettuce. Observations during the study suggest the need for a thorough control of the temperature and environmental humidity in the greenhouse, as lettuce is quite sensitive to the extreme variation of these parameters as could be seen from the study.

Key words: lettuce, hydroponics, increasing concentrations.

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Cultivando lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>), bajo condiciones de hidroponía con concentraciones crecientes de una solución nutritiva a nivel de invernadero.		
Autor:	Choez Morales Víctor Alejandro		
Fecha de publicación:			
Palabras clave:	Lechuga	Hidroponía	Concentraciones crecientes
Resumen:	<p>La fase de campo de la presente investigación donde se cultivó lechuga, una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial por sus característico sabor y color, utilizando de por medio sistemas hidropónicos que hacen que el manejo de este cultivo sea de manera orgánica, mediante la aplicación crecientes concentraciones nutritivas a nivel de invernadero. El objetivo fue evaluar el proceso productivo de la lechuga bajo condiciones de hidroponía con niveles variables de solución nutritiva bajo condiciones de invernadero. El estudio se realizó en un pequeño invernadero ensamblado con este fin, ubicado junto al edificio de la Facultad de Ciencias Agrarias, UTEQ. Los tratamientos estuvieron representados por tres concentraciones nutritivas que se distribuyeron en el invernadero según el diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por 16 plantas. Para evaluar el efecto de las soluciones nutritivas se registraron datos de las siguientes variables: número de plantas que no sobrevivieron al transplante, tasa de crecimiento radicular (cm/semana), longitud radicular a la cosecha (cm), número de hojas sanas a la cosecha, número total de hojas producidas (incluidas sanas y enfermas), longitud de hojas a la cosecha (cm), peso de raíz fresca (gramos), peso de raíz seca (gramos), peso de planta a la cosecha (gramos)) y análisis económico cuya variable obtuvo mayor respuesta el T1 obteniendo ingresos brutos favorables y la relación beneficio costo mostró que las ganancias por cada dólar invertido es de \$ 0,34.</p>		
Descripción:			
URI:			

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
SUMMARY	ix
CÓDIGO DUBLIN	x
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación	3
1.1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.3. Sistematización del problema.....	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación	5

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco teórico	7
2.1.1. Antecedentes del cultivo hidropónico	7
2.2. El cultivo de lechuga.....	7
2.2.1. Variedades	8
2.2.2. Valor nutritivo	10
2.2.3. Requerimientos del cultivo.....	10
2.3. Hidroponía	11
2.3.1. Ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos.....	12

2.3.2.	Técnicas hidropónicas	13
2.4.	Soluciones Nutritivas	14
2.4.1.	Elementos indispensables en las soluciones nutritivas.....	15
2.4.2.	Calidad del agua en la solución nutritiva	17
2.4.3.	pH en la solución nutritiva	17
2.4.4.	Conductividad eléctrica en la solución nutritiva	17
2.4.5.	Oxigenación a la solución nutritiva.....	17

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Ubicación del experimento	19
3.2.	Tipo de investigación.....	20
3.3.	Métodos de investigación	20
3.4.	Fuentes de información.....	20
3.5.	Factor de estudio	20
3.6.	Tratamientos estudiados	20
3.6.1.	Preparación concentración baja (Estándar)	21
3.6.2.	Preparación concentración media (50% +)	22
3.6.3.	Preparación concentración alta (100% +)	23
3.7.	Diseño experimental y análisis estadístico	24
3.8.	Especificaciones del experimento.....	25
3.8.1.	Manejo del experimento.....	25
3.8.2.	Datos registrados y forma de evaluación	27
3.9.	Recursos humanos y materiales	29
3.9.1.	Equipos.....	29
3.9.2.	Materiales	29

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados.....	32
4.1.1.	Número de plántulas que no sobrevivieron al trasplante	32
4.1.2.	Tasa de crecimiento radicular (cm/semana).....	32
4.1.3.	Longitud radicular a la cosecha (cm)	33
4.1.4.	Número de hojas sanas a la cosecha.....	33
4.1.5.	Número total de hojas producidas	34

4.1.6.	Longitud de hojas a la cosecha (cm)	34
4.1.7.	Peso de raíz fresca a la cosecha (gramos)	35
4.1.8.	Peso de raíz seca (gramos)	35
4.1.9.	Peso de planta a la cosecha (gramos)	36
4.1.10.	Análisis económico	36
4.2.	Discusión	37

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	39
5.2.	Recomendaciones	40

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

6.1.	Bibliografía	42
------	--------------------	----

CAPÍTULO VII. ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación taxonómica.....	8
Tabla 2.	Valor nutritivo de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) por 100 gramos de porción comestible	10
Tabla 3.	Factores climáticos del experimento registrados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue.	19
Tabla 4.	Especificaciones del experimento.....	24
Tabla 5.	Promedios de número de plántulas de lechuga que no sobrevivieron al trasplante aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	31
Tabla 6.	Promedios de la tasa de crecimiento (cm/semana) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	31
Tabla 7.	Promedios de la longitud radicular a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	32
Tabla 8.	Promedios del número de hojas sanas a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	32
Tabla 9.	Promedios de número total de hojas producidas de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	33
Tabla 10.	Promedios de longitud de hojas a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.	33
Tabla 11.	Promedios del peso de raíz fresca a la cosecha (g) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	34
Tabla 12.	Promedios del peso de raíz seca (g) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.	34
Tabla 13.	Promedios del peso de planta (g) a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.	35
Tabla 14.	Análisis económico y costos de producción por hectárea de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Croquis distribución de las unidades experimentales dentro del invernadero.....	45
Anexo 2.	Resumen de resultados del desempeño de las plantas de lechuga con crecientes concentraciones de una solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.	46
Anexo 3.	Construcción de los recipientes hidropónicos dentro del invernadero y posterior instalación de plástico negro.....	47
Anexo 4.	Material genético utilizado en la investigación.	47
Anexo 5.	Realización de semillero y posterior trasplante de las plantas de lechuga.	48
Anexo 6.	Oxigenación del agua mediante bombas de pecera.	48
Anexo 7.	Registro de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.	49
Anexo 8.	Cosecha de las plantas de lechuga y posterior registro de datos para evaluación.	49
Anexo 9.	Plantas de lechuga a los 15 días después de trasplante.....	50
Anexo 10.	Plantas de lechuga a los 30 días después de trasplante.....	50
Anexo 11.	Plantas de lechuga a los 35 días después de trasplante presentando problemas de escaldamiento.	51
Anexo 12.	Plantas de lechuga a los 45 días después de trasplante presentando problemas de escaldamiento.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del lugar del experimento.....	19
------------------	---	----

INTRODUCCIÓN

En un mundo con suelos erosionados e índices cada vez mayores de contaminación y climas cambiantes y persistentes requerimientos ecológicos de la población, la hidroponía, por sus especiales características, brinda nuevas posibilidades donde los cultivos tradicionales están agotados como alternativa.

Dentro de la investigación se busca resolver el problema que existe en la agricultura actual como lo es el excesivo uso de pesticidas y la pérdida de inocuidad de los alimentos, mediante el uso de alternativas agroecológicas se estima determinar resultados favorables para la producción agrícola.

Se piensa en la hidroponía como alternativa para cultivar de hortalizas en este caso el cultivo de lechuga la cual se adapta a este sistema de cultivo, y su vez es un alimento rico en nutrientes para las personas que la consumen, la hidroponía es algo nuevo para los agricultores de la zona pero muy interesante por la disminución de la aplicación de productos químicos debido a la inexistencia de malezas y el minucioso control de insectos y enfermedades que atacan al cultivo.

Donde la aplicación de los nutrientes se hace con facilidad por medio de concentraciones nutritivas diluidas en agua y la cual es aprovechada totalmente por la planta mediante la absorción de estos por de las raíces.

En nuestro medio el uso de técnicas hidropónicas para cultivar plantas hortícolas de interés comercial es una actividad inexplorada, aun cuando este tipo de cultivos bajo condiciones controladas, a nivel de invernadero, podría ser una alternativa válida para mejorar el rendimiento a pequeña escala, incrementar ingresos, y producir alimentos orgánicos con creciente demanda en los centros urbanos.

Con este antecedente la presente investigación busca conocer el desempeño productivo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) en condiciones de hidroponía como base para un posterior estudio sobre la posible viabilidad económica.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La demanda de productos hortícolas inocuos y de bajo costo alienta al estudio de sistemas más productivos, pero en pequeña escala. Uno de los productos hortícolas de creciente demanda interna es la lechuga (*Lactuca sativa L.*) cuya producción en invernadero podría satisfacer las necesidades de inocuidad, productividad y rentabilidad que hagan más atractiva esta actividad.

Hasta donde se conoce no hay experiencia de hidroponía con cultivos en la zona. Sin embargo, si es una actividad comercial en otros países; Brasil, por ejemplo. No hay que dejar pasar la oportunidad de desarrollar experiencias locales sobre el tema en la búsqueda de métodos alternos para producir este u otros cultivos hortícolas. Al no hacerlo podríamos estar desperdiciando iniciativas como punto de partida de posibles emprendimientos en el futuro.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el aumento de las concentraciones nutritivas en el rendimiento del cultivo de lechuga bajo condiciones de hidroponía?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuál es la respuesta del cultivo de lechuga bajo condiciones de hidroponía, al incremento de las concentraciones nutritivas respecto al peso de la cosecha?

¿Cuál de las concentraciones nutritivas utilizadas se encuentra más asociada a la producción máxima del cultivo de lechuga?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el proceso productivo de la lechuga bajo condiciones de hidroponía con niveles variables de solución nutritiva bajo condiciones de invernadero.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar si el peso de la cosecha responde al incremento de las concentraciones nutritivas del medio hidropónico.
- Establecer la concentración nutritiva del medio hidropónico más asociada a la producción máxima.

1.3. Justificación

El cultivo de lechuga es una de las hortalizas más importantes y actualmente es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre y bajo invernadero, en suelo y también por su fácil adaptación a los sistemas hidropónicos por lo que se considera un alimento con alto nivel de inocuidad al ser cultivado bajo condiciones controladas donde se limita la aplicación excesiva de pesticidas.

Los resultados del presente estudio pueden convertirse en una referencia valiosa para continuar esta línea de investigación de la hidroponía como sistema de producción de cultivos hortícolas en la zona, atendiendo a las necesidades de los mercados más exigentes en cuanto a la inocuidad de los alimentos. También responde al imperativo de hacer de la producción de productos hortícolas como la lechuga, una actividad más rentable. Por medio de esta investigación donde la idea es producir alimentos sanos y libres de pesticidas que causan daño al medio ambiente y a las personas que los consumen, por lo que se sugiere a la hidroponía como una opción para obtener mayores rendimientos de lechuga y a su vez obtener productos inocuos y sanos, y también donde los productores a pequeña escala resulten beneficiados.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. Antecedentes del cultivo hidropónico

La hidroponía se desarrolló a través de los años gracias al aporte de diferentes científicos que mediante estudios permitieron demostrar la validez del cultivo sin tierra, luego se difundió al resto del mundo la nueva forma de cultivar; siendo considerada la hidroponía como un sistema de producción agrícola que tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social (Guanochanga, 2010).

Hoy en día la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola, generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital, y es aplicado exitosamente con fines comerciales en países desarrollados. En la última década, el área mundial, destinada a la producción hidropónica se ha incrementado considerablemente al pasar de 12000 ha en 1996 a 40000 en el 2008, destacándose México y Brasil como países hidropónicos con algo más de 2000 ha (Arcos, 2011).

La producción de lechuga en invernaderos es un cultivo de larga tradición, en el que hace aproximadamente 20 – 25 años se produjo una renovación importante, una modernización en la forma de cultivo, en sistemas de riego y material vegetal. Desde entonces ocupa una gran parte de la superficie cubierta, y se produce de forma continua en todas las épocas del año. En todo este tiempo la forma de producción ha cambiado muy poco, siendo la metodología de cultivo y de trabajo la misma. Y la realización de una nueva experimentación con el objetivo de buscar nuevas alternativas, que supusiesen una mejora en productividad y calidad, pero además y tan importante como lo anterior, que aportase una mejora en las condiciones de trabajo del cultivo, facilidad de manejo, etc. En definitiva en la rentabilidad del cultivo (Díaz, 2010).

2.2. El cultivo de lechuga

La lechuga pertenece a la familia más grande del reino vegetal (ver Tabla 1). Presenta una gran diversidad, que se expresa con diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie; varias son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo (Saavedra, 2017).

Tabla 1. Clasificación taxonómica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	Lactuca
Especie	<i>L. sativa</i> L.

Fuente: (Cacarín, 2013)

La planta se compone de un sistema radical compuesto por una raíz principal poco profunda con rápido crecimiento, a razón de 1 pulgada por día, sobre todo un suelo suelto y húmedo. Las primeras raíces laterales son horizontales y muy cerca de la superficie del suelo. Luego el conjunto de raíces son muy similares en diámetro y longitud de la raíz principal. La raíz principal supera los 30 cm, sin embargo gran parte del sistema radical se concentra ramificado en la parte superior del perfil de suelo (Silva y Sandoval Briones, 2016).

2.2.1. Variedades

Según Montesdeoca (2009) las variedades de lechuga se agrupan de acuerdo a la forma en que crecen, clasificándose en tres tipos: De cabeza o arrepollados, con hojas grandes, envoltentes de color verde claro y alta demanda comercial. Otro tipo tienen hojas sueltas y Crispa sin formar repollo, grandes hojas de color verde claro, bordes muy crespos; sus manojos se pueden cosechar individualmente si arrancar la planta. La variedad Romana pertenece a un grupo con hojas alargadas que forman un cogollo suelto, frágil, las hojas son de color verde en la parte exterior presenta y blanco en el interior. De este último tipo en el Ecuador se cultivan las siguientes:

Dancing: Es una lechuga rizada y pequeña con gran demanda en el mercado y para ensaladas y decoración del plato y arreglos. Sus hojas son las más resistentes.

Romana: Variedad de hojas grandes y alargadas, sin repollo, excelente sabor y utilizadas en ensaladas y decoración de platos especiales. Alta producción de hojas de color verde intenso, alargadas, ideal para zonas cálidas y soporta bien el manipuleo.

Seda: Variedad de hojas pequeñas, delicadas, sabor exquisito y se recomienda para platos especiales. De coloración verde amarillo, de hojas finas alargadas. Es precoz y acepta los climas cálidos y templados, y a los 62 días lista para la cosecha.

Crespa: Variedad de hojas finas encrespadas grandes, abiertas, buen vigor alta uniformidad, buen rizado, de color verde claro, su tallo es aéreo y herbáceo.

- Altitud: 1600.2700 msnm
- Rendimientos: 10 ton/ha
- Ciclo de vida total de 86 días (30 días en el semillero + 56 días desde el trasplante a cosecha)
- Densidad de siembra: 156.000 plantas/ha.
- Siembra: Campo abierto, invernadero, convencional o hidropónico.
- pH entre 5.5 y 7.5.

Green Salad Bowl: Es una planta compacta, altura de 20 a 25 cm, color verde claro, tipo crespa con cabeza grande.

- Altitud: se produce bien entre los 2200 a 2600 msnm.
- Ciclo de vida: 90 días.
- Densidad de siembra: 0.30 m entre surcos x 0.25 entre plantas.
- Humedad relativa que necesita es de 70 al 90%.
- El pH óptimo entre 5.2 y 5.8.
- Se trasplante cuando tienen un tamaño de 8 a 10 cm y presentan entre 4 a 5 hojas verdaderas.
- Tolerante a temperaturas elevadas.

Lollo Rossa: Variedad de lechuga de hojas muy rizadas de color rojo oscuro, tallo herbáceo, no llega a formar cogollo compacto. Se puede recolectar la planta entera o bien quitar hojas a medida que van creciendo. Presenta las siguientes características:

- Una altitud mayor a 2200 msnm
- Rendimiento: 20 ton/ha.
- Ciclo de vida: 86 – 90 días (30 días semillero + 56-60 días transplante a cosecha).
- Densidad de siembra: 156.000 plantas/ha.
- Distancia: 20 cm entre plantas y 40 cm entre hileras.

- Transplante de las plántulas cuando tengan de 3 a 4 hojas.
- pH entre 5.5 y 7.5
- Resistente a mildiu.

2.2.2. Valor nutritivo

En la Tabla 2 se detallan los valores nutritivos del cultivo de lechuga por cada 100 gramos de porción comestible.

Tabla 2. Valor nutritivo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) por 100 gramos de porción comestible

Agua	96,61%
Proteína	1,23 g
Grasa total	0,3 g
Carbohidratos	3,28 g
Calcio	33 mg
Fósforo	30 mg
Hierro	0,97 mg
Tiamina	0,07 mg
Rivoflavina	0,07 mg
Vitamina C	24 mg
Vitamina A equiv.retinol	290 mg
Potasio	247 g
Sodio	8 g
Magnesio	14 mg

Fuente: (Álvarez, 2016)

2.2.3. Requerimientos del cultivo

Clima

Es un cultivo principalmente de zonas altas, donde su mejor desarrollo y calidad lo obtiene por encima de los 1,100 msnm. con una temperatura media alrededor de los 18°C. Es

bastante tolerante a las bajas temperaturas, pero a altas temperaturas su calidad desmejora y la vida de anaquel se limita bastante. Para un desarrollo normal de la planta, es necesario que las temperaturas durante la fase de crecimiento permanezcan entre 20 y 24°C (Theodoracopoulos, Lardizabal, y Arias, 2009).

Humedad relativa

El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan (Casaca, 2005).

Época de siembra

Se puede sembrar todo el año, aunque falta investigación para determinar las mejores variedades para la época lluviosa (Theodoracopoulos, Lardizabal, y Arias, 2009).

Distancia de siembra

Distancia de plantación en hileras de 30 cm y 20 -30 cm entre plantas. Algunas variedades de lechuga tienen semilla que requiere luz para su germinación. Estos tipos de semillas no se deben cubrir con la tierra, pero se deben presionar simplemente para que tengan buen contacto con la tierra al momento de realizar el semillero. La semilla de lechuga no resiste un almacenamiento prolongado y es recomendable obtener nueva semilla (IICA, 2007).

2.3. Hidroponía

Según Gilsanz (2007), el vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas HYDRO que significa agua y PONOS que significa trabajo. Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición. La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En esos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen,

orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son considerados propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa.

Existe un control sobre la nutrición vegetal al uso de soluciones nutritivas; permitiendo obtener un fruto estandarizado, de mejor tamaño y calidad. En muchos casos, el tiempo de desarrollo de la planta se acorta, como por ejemplo, en las lechugas, donde en tierra su ciclo antes del consumo es de aproximadamente 3.5 meses, cuando en hidroponía, en la técnica hidropónica de raíz flotante las podemos cultivar en tan solo 1.5 meses a partir de su germinación (Beltrano, 2015).

2.3.1. Ventajas y desventajas de los sistemas hidropónicos

Ventajas

Verdegen (2017) indica que las principales ventajas de los sistemas hidropónicos son las siguientes:

- Usa de 70-90% menos agua que la agricultura tradicional, por lo tanto, constituye una alternativa sustentable ante la crisis del agua en la actualidad.
- Permite un gran ahorro de fertilizantes y plaguicidas, ya que las plantas se cultivan en condiciones controladas que favorecen su crecimiento óptimo y libre de parásitos, bacterias, hongos fitopatógenos y toxinas. A su vez, esto hace que los cultivos sean más precoces y uniformes.
- Desde el punto de vista económico, la hidroponía conlleva una reducción considerable en los costos de producción debido al ahorro de agua, fertilizantes, pesticidas y maquinaria agrícola.
- Desde un punto de vista ecológico, además la hidroponía previene la erosión que resulta de malas prácticas agrícolas.

Desventajas

Según Prado, (2013) las principales desventajas de los sistemas hidropónicos se centran en que:

- En el ámbito comercial el gasto inicial es relativamente alto.
- Se requiere cuidado con los detalles.
- Se necesita conocer y manejar la especie que se cultive en el sistema.
- Requiere de un abastecimiento continuo de agua.
- No existe una difusión amplia de lo que es la Hidroponía.

2.3.2. Técnicas hidropónicas

Las técnicas de producción en hidroponía se clasifican en función del medio de crecimiento en que se desarrolla el sistema radical de las plantas. Entre las técnicas de medio líquido se ubican a las técnicas en película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y la aeroponía. En la actualidad existen algunas técnicas hidropónicas muy utilizadas en la producción de distintos productos agrícolas (Cajo, 2016).

2.3.2.1. Cultivo en sustrato

Pueden utilizarse como sustrato materiales de origen inorgánico o mineral como: la piedra volcánica, grava, piedra “quintilla”, arenón, arena, piedra pómez, etc., como también materiales de origen orgánico tales como: fibra de coco, carbón vegetal, granza de arroz, cubierta de la nuez de macadamia (Guzmán, 2004).

2.3.2.2. Sistema NFT

El sistema de recirculación de solución nutritiva NFT (Nutrient Film Technique), se desarrolló en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, sin pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema cerrado. La densidad de plantas en el caso de cultivo de lechuga, bajo este sistema es de 22 a 24 plantas por metro cuadrado según el cultivar. El tiempo aproximado de trasplante a cosecha es de 25 a 40 días. La solución nutritiva se debe tener en un rango de conductividad de 1.5 a 2.5 mS-cm⁻² y un pH de 5.5 a 6, siendo el consumo de solución de

aproximadamente 0.25 litros/planta. En este cultivo el canal es de porte bajo y con un ancho de 6 cm (Gutierrez, 2011).

2.3.2.3. Aeroponía

De forma similar a la hidroponía, tenemos que sostener las plantas de forma que mantengamos las raíces en un espacio total o parcialmente cerrado. Las sales necesarias se hacen llegar en una solución de nutrientes que por medio de una spray o su vaporización entran en contacto con las raíces de las plantas. Desde gotas de tamaño normal a una neblina de microgotas de 50 micrómetros o menos, éstas facilitan la humedad y el transporte de nutrientes necesarios, permitiendo además que las raíces tomen todo el oxígeno y CO₂ que necesitan del aire (Basterrechea, 2015).

2.3.2.4. Raíz flotante

Este sistema se caracteriza por aportar las condiciones ambientales adecuadas que requieren las plantas para crecer, además ayuda a que el ciclo de la planta disminuya, lo cual permite obtener cosechas con mejores rendimientos en menor tiempo. Así mismo, es importante mencionar que con este método de cultivo hidropónico no se necesita utilizar algún tipo de sustrato ya que las raíces deben permanecer dentro del agua en todo momento para recibir los nutrientes necesarios para su desarrollo (Hydroenvironment, 2015).

Se utilizan contenedores de cualquier tipo de material el cual no debe permitir el paso de luz protegido por una tapa con orificios encargada de sostener al cultivo permitiendo que las raíces estén en contacto con la solución nutritiva. No debemos olvidar que este sistema depende de la aireación por el oxígeno esencial para la raíz. La aireación se puede realizar de forma manual para producir movimiento del agua, utilizando cualquier objeto limpio. La aireación también puede ser automatizada utilizando una bomba de aire para peceras y un “timer” que permite programar los periodos de aireación (Lema, 2017).

2.4. Soluciones Nutritivas

La solución nutritiva se define como un conjunto compuesto de agua y sales que contienen los elementos esenciales que las plantas necesitan para su desarrollo. Los estudios de la

fisiología vegetal muestran que ciertos elementos esenciales afectan el desarrollo de la planta. Partiendo de esta base se inició la mezcla de compuestos los cuales fueron evaluados hasta llegar a una solución, que hasta hoy se siguen modificando para diferentes cultivos por la variabilidad genética y cambios ambientales. Los elementos esenciales que mantienen viva la planta son: Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) los micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn y Mo) (Latino, 2010).

2.4.1. Elementos indispensables en las soluciones nutritivas

Barrios (2004) describe las características de la demanda nutricional de las plantas para cada elemento y los compuestos que se pueden usar en hidroponía para proveerlos.

Nitrógeno: Es absorbido por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) y en forma de amonio (NH_4^+) soluble en agua. En hidroponía la mayoría del nitrógeno se proporciona en base a nitratos. El amonio en la mayoría de los casos solo se usa como fuente suplementaria ya que elevadas concentraciones de este ión puede causar daños fisiológicos a las plantas. Las principales fuentes de nitrógeno son el nitrato de potasio pero es muy difícil y caro conseguirlo en pequeñas cantidades, proporciona nitrógeno en forma de nitrato y potasio. El nitrato de calcio solo puede conseguirse como reactivo analítico, lo cual hace imposible su uso a escala comercial aunque es una fuente satisfactoria de nitrógeno y calcio soluble, además es muy higroscópico.

Fósforo: Es asimilable por las plantas como ión fosfato (PO_4^-). Sus principales fuentes son superfosfatos de calcio que es barato y fácil de conseguir, contiene calcio, azufre y varios microelementos como impurezas pero es de baja solubilidad (difícil de disolver). El superfosfato de calcio triple contiene más fósforo que el superfosfato simple, pero, menos impurezas, su precio es más elevado y también difícil de disolver. El fosfato de amonio y fosfato diamónico son más fáciles de disolver y además proporciona nitrógeno amoniacal. El ácido fosfórico normalmente es una fuente suplementaria de fósforo, utilizado como una solución débil para regular el pH, en vez del ácido sulfúrico.

Potasio: Nitrato de potasio y sulfato de potasio son las principales fuentes de este nutriente. Es barato y fácil de conseguir; también proporciona azufre. Se puede usar

cloruro de potasio aunque se debe tener cuidado para no elevar el contenido de cloro de la solución aumentando el riesgo de toxicidad a las plantas.

Calcio: Las principales fuentes de calcio son nitrato de calcio muy soluble pero no se consigue en el mercado como fertilizante comercial. Superfosfato simple y triple proporcionan una buena cantidad de calcio aunque son compuestos difíciles de diluir. El sulfato de calcio (yeso) es difícil de diluir también pero es barato y fácil de conseguir. El cloruro de calcio se recomienda como fuente suplementaria sin olvidar que eleva el contenido de cloro en la solución.

Azufre: Las plantas en forma de sulfatos (SO_4^-) pero presentan límites de tolerancia amplia para este nutriente. Por lo tanto no se contabiliza casi nunca al hacer la solución nutritiva pues se considera que siempre queda dentro de los límites adecuados. Sus principales fuentes son sulfato de magnesio, sulfato de potasio y superfosfato.

Magnesio: Su principal fuente es el sulfato de magnesio, usado exclusivamente en hidroponía como fuente de magnesio debido a por su solubilidad, bajo costo ya accesibilidad. El nitrato de magnesio es más caro y difícil de conseguir en el mercado.

Hierro: El sulfato ferroso se usa en soluciones con un pH menor de 6 para que se disuelva bien y es la fuente más barata de hierro. El cloruro férrico, es más caro y difícil de conseguir. Los quelatos proporcionan hierro asimilable por periodos de tiempo más prolongados que el sulfato ferroso y previenen la precipitación de fósforo; su precio es elevado.

Manganeso: En la solución nutritiva, es proporcionado como sulfato, cloruro o quelatos de manganeso.

Boro: Es absorbido como borato (BO_3^-) y sus principales fuentes son el ácido bórico, y el bórax (tetraborato de sodio).

Cobre: Sus principales fuentes son el sulfato y cloruro de cobre.

Zinc: Se aporta a la solución como sulfato o cloruro de zinc.

Molibdeno: Al ser requerido en pequeñas cantidades se encuentra como impurezas en otros fertilizantes y por lo tanto no requiere de una fuente adicional para disponer de este elemento en la solución hidropónica.

2.4.2. Calidad del agua en la solución nutritiva

Así como en los sistemas convencionales la calidad del suelo es determinante del éxito, en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no debemos olvidar que producimos hortalizas que van a ser consumidas en fresco. Deberán usarse aguas con bajos contenidos de sales (Gilsanz, 2007).

2.4.3. pH en la solución nutritiva

El control del pH de una solución es importante porque controla la disponibilidad de sales fertilizantes, un pH de 5.8 es considerado óptimo para el sistema de crecimiento de las lechugas, aunque entre 5.6 y 6.0 es aceptable (Resh, 2004).

2.4.4. Conductividad eléctrica en la solución nutritiva

La conductividad es un parámetro que mide el total de sales disueltas en el agua y evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, se expresa en mS/cm.. El rango de conductividad eléctrica adecuado para el crecimiento de las plantas se encuentra entre: 1,5-2,5 mS/cm. El exceso de salinidad interfiere con la absorción de agua, nutrientes y causa toxicidad (León, 2006).

2.4.5. Oxigenación a la solución nutritiva

La oxigenación de la solución nutritiva es necesaria para facilitar el intercambio gaseoso, promoviendo el desarrollo de raíces y crecimiento de las plantas. Al faltar oxígeno en el agua la absorción de nutrientes disminuye al reducirse la permeabilidad de las raíces, limitándose la absorción de agua y recortándose el rendimiento (Martínez, 2012).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se lo realizó a nivel de invernadero en la UTEQ, cantón Quevedo, Provincia de los Ríos, detrás de la Facultad de Ciencias Agrarias. La ubicación geográfica es 1°20'30'' de latitud sur y 79°28'30'' de longitud occidental.



Figura 1. Localización del lugar del experimento

En la Tabla 3 se muestran los datos climáticos de la zona donde se realizó la presente investigación:

Tabla 3. Factores climáticos del experimento registrados en la Estación Experimental Tropical Pichilingue.

Factores climáticos	Promedio
Temperatura promedio anual (°C)	25,5
Humedad relativa promedio anual (%)	85,8
Precipitación promedio anual (mm)	2178
Heliofania promedio anual (horas-luz/año)	898,9

Datos obtenidos del INAMHI, localizado en la Estación Experimental Tropical Pichilingue.

3.2. Tipo de investigación

La investigación que se realizó fue de tipo experimental para la evaluación de las variables y así identificar los resultados de la aplicación de soluciones nutritivas con crecientes concentraciones en el cultivo de lechuga.

3.3. Métodos de investigación

Deductivo: considera que la conclusión se halla implícita dentro de las premisas, esto quiero decir que en base al experimento se obtienen conclusiones para una posible generalización.

3.4. Fuentes de información

La información que se recopiló para la presente investigación fue mediante la observación directa y la respectiva medición de las variables (fuentes primarias), así como también fuentes secundarias: revistas, libros, artículos científicos e internet.

3.5. Factor de estudio

Factor A: Aumento de la concentración nutritiva.

3.6. Tratamientos estudiados

Los tratamientos que se aplicaron en las unidades experimentales están representados como niveles de concentración de una solución nutritiva. Las concentraciones se encuentran codificadas como Concentración baja (Estándar), Concentración media (50% +) y Concentración alta (100% +), los cuales se detallan a continuación:

T1 = Concentración baja (Estándar) (Nitrato de potasio 275 g, nitrato de calcio 520 g, fosfato mono amónico 85 g, sulfato de magnesio 123g, ácido bórico 1,55 g, sulfato de manganeso 0,62 g, sulfato de zinc 0,30 g).

T2 = Concentración media (50% +) (Nitrato de potasio 412 g, nitrato de calcio 780 g, fosfato mono amónico 127,5 g, sulfato de magnesio 184,5 g, ácido bórico 2,33 g, sulfato de manganeso 0,93 g, sulfato de zinc 0,45 g).

T3 = Concentración alta (100% +) (Nitrato de potasio 618,5 g, nitrato de calcio 1170 g, fosfato mono amónico 191,5 g, sulfato de magnesio 234,5 g, ácido bórico 3,49 g, sulfato de manganeso 1,39 g, sulfato de zinc 0,67 g).

3.6.1. Preparación concentración baja (Estándar)

La concentración estándar se obtuvo disolviendo cada uno de los nutrientes por separado. Al principio se clasificó como solución nutritiva A para los nutrientes (macro) y la solución B para los nutrientes (micro).

Obtención solución A:

Se necesitaron 10 litros de agua para obtener la solución nutritiva. Antes de esto se pesaron cada uno de los nutrientes por medio de una balanza digital, en un recipiente plástico se introdujo 4 litros de agua para la posterior mezcla de los nutrientes que fueron aplicados de manera ordenada uno por uno, luego de realizado el procedimiento de disolución de cada nutrimento se procedió a introducir la mezcla en un envase con capacidad de 10 litros para así poder completar con los 6 litros de agua restante y de esa forma tener una mezcla lista para ser aplicada a las unidades experimentales de la investigación. Para la posterior aplicación de la solución obtenida se hizo un cálculo en el que por cada litro de agua que se puso dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar $2,63 \text{ cm}^3$ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la cantidad exacta que se aplicó fue de 500 cm^3 . Cabe recalcar que se usó una jeringa de 50 cm^3 para medir y aplicar la solución nutritiva.

Obtención solución B:

Para la obtención de la solución B se necesitaron 4 litros de agua. Esta solución fue conformada por micronutrientes los que fueron pesados con anterioridad, para la disolución de cada uno de los nutrimentos se utilizaron 2 litros de agua al inicio con los cuales se mezcló y disolvió cada uno de los nutrientes de manera ordenada y clasificado por su peso. Luego de realizada la mezcla de los nutrimentos se procedió a la posterior introducción en el recipiente con capacidad de 4 litros donde se completó con los 2 litros restante para así dar por terminada la mezcla y obtención de la solución B para su consiguiente aplicación a cada una de las repeticiones de las parcelas experimentales. Para la aplicación de la solución concentrada B se hizo una relación en la que por cada litro de agua que hay dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar $1,06 \text{ cm}^3$ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la cantidad exacta que se aplicó fue de 200 cm^3 . Cabe recalcar que mediante una jeringa de 50 cm^3 para medir y proporcionar la dosis de solución nutritiva.

3.6.2. Preparación concentración media (50% +)

La concentración 2 se obtuvo disolviendo cada uno de los nutrientes por separado. Al principio se clasificó como solución nutritiva C para los nutrientes (macro) y la solución D para los nutrientes (micro).

Obtención solución C:

Se necesitaron 10 litros de agua para obtener la solución nutritiva. Antes de esto se pesaron cada uno de los nutrientes por medio de una balanza digital, en un recipiente plástico se introdujo 4 litros de agua para la posterior mezcla de los nutrientes que fueron aplicados de manera ordenada uno por uno, luego de realizado el procedimiento de disolución de cada nutrimento se procedió a introducir la mezcla en un envase con capacidad de 10 litros para así poder completar con los 6 litros de agua restante y de esa forma tener una mezcla lista para ser aplicada a las unidades experimentales de la investigación. Para la posterior aplicación de la solución obtenida se hizo un cálculo en el que por cada litro de agua que se puso dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar $2,63 \text{ cm}^3$ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la

cantidad exacta que se aplicó fue de 500 cm³. Cabe recalcar que se usó una jeringa de 50 cm³ para medir y aplicar la solución nutritiva.

Obtención solución D:

Para la obtención de la solución D se necesitaron 4 litros de agua. Esta solución fue conformada por micronutrientes los que fueron pesados con anterioridad, para la disolución de cada uno de los nutrimentos se utilizaron 2 litros de agua al inicio con los cuales se mezcló y disolvió cada uno de los nutrientes de manera ordenada y clasificado por su peso. Luego de realizada la mezcla de los nutrimentos se procedió a la posterior introducción en el recipiente con capacidad de 4 litros donde se completó con los 2 litros restante para así dar por terminada la mezcla y obtención de la solución D para su consiguiente aplicación a cada una de las repeticiones de las parcelas experimentales. Para la aplicación de la solución concentrada D se hizo una relación en la que por cada litro de agua que hay dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar 1,06 cm³ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la cantidad exacta que se aplicó fue de 200 cm³ Cabe recalcar que mediante una jeringa de 50 cm³ para medir y proporcionar la dosis de solución nutritiva.

3.6.3. Preparación concentración alta (100% +)

La concentración 3 se obtuvo disolviendo cada uno de los nutrientes por separado. Al principio se clasificó como solución nutritiva E para los nutrientes (macro) y la solución F para los nutrientes (micro).

Obtención solución E:

Se necesitaron 10 litros de agua para obtener la solución nutritiva. Antes de esto se pesaron cada uno de los nutrientes por medio de una balanza digital, en un recipiente plástico se introdujo 4 litros de agua para la posterior mezcla de los nutrientes que fueron aplicados de manera ordenada uno por uno, luego de realizado el procedimiento de disolución de cada nutrimento se procedió a introducir la mezcla en un envase con capacidad de 10 litros para así poder completar con los 6 litros de agua restante y de esa forma tener una mezcla lista para ser aplicada a las unidades experimentales de la investigación. Para la posterior aplicación de la solución obtenida se hizo un cálculo en el que por cada litro de agua que se

puso dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar $2,63 \text{ cm}^3$ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la cantidad exacta que se aplicó fue de 500 cm^3 . Cabe recalcar que se usó una jeringa de 50 cm^3 para medir y aplicar la solución nutritiva.

Obtención solución F:

Para la obtención de la solución F se necesitaron 4 litros de agua. Esta solución fue conformada por micronutrientes los que fueron pesados con anterioridad, para la disolución de cada uno de los nutrimentos se utilizaron 2 litros de agua al inicio con los cuales se mezcló y disolvió cada uno de los nutrientes de manera ordenada y clasificado por su peso. Luego de realizada la mezcla de los nutrimentos se procedió a la posterior introducción en el recipiente con capacidad de 4 litros donde se completó con los 2 litros restante para así dar por terminada la mezcla y obtención de la solución F para su consiguiente aplicación a cada una de las repeticiones de las parcelas experimentales.

Para la aplicación de la solución concentrada F se hizo una relación en la que por cada litro de agua que hay dentro del contenedor hidropónico (unidad experimental) se debe aplicar $1,06 \text{ cm}^3$ de solución nutritiva. En cada contenedor se utilizaron 190 litros de agua por lo tanto la cantidad exacta que se aplicó fue de 200 cm^3 Cabe recalcar que mediante una jeringa de 50 cm^3 para medir y proporcionar la dosis de solución nutritiva.

3.7. Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó el diseño completamente al azar (DCA) conformado por 3 tratamientos (3 niveles de solución nutritiva) y 3 repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 16 plantas para cada una de las repeticiones las cuales fueron identificadas para su respectiva evaluación.

Se estudió un solo factor, constituido por niveles de dosis de solución nutritiva.

Las variables en investigación fueron sometidas al análisis de varianza (ADEVA), y se aplicó la prueba de Duncan al 95% de probabilidad para así obtener la diferencia estadística entre los tratamientos, para este análisis estadístico se utilizó Infostat versión 2018.

3.8. Especificaciones del experimento

En la tabla 4, se presentan las especificaciones del experimento. En el Anexo 1 se muestra croquis de distribución de tratamientos en el invernadero.

Tabla 4. Especificaciones del experimento

Distancia entre plantas	:	0,20 m
Distancia entre hileras	:	0,20 m
Número de plantas por tratamiento	:	16
Distancia entre bloques	:	0,15 m
Número de plantas totales	:	144
Área de las unidades experimentales	:	1 m ²

3.8.1. Manejo del experimento

Construcción de los recipientes hidropónicos

Los recipientes donde fueron introducidos el medio acuoso junto con las soluciones nutritivas para el presente estudio experimental estuvieron constituidos por tablas de madera con dimensiones de 1 metro de largo por 1 metro de ancho y el espesor fue de aproximadamente 2 cm, con 23 cm de altura una vez armado. Luego de armada la estructura del recipiente se procedió a tapar la parte interna del recipiente con plástico negro de 2mm de espesor para que no haya infiltración de agua y a su vez evitar la proliferación de algas que contaminen el medio acuoso. Cabe recalcar que la altura de la lámina de agua fue de 19 cm. Ver foto en Anexo 3.

Material de siembra

El material de siembra utilizado fue el híbrido Mimosa distribuida por la empresa Sakata. Ver foto en Anexo 4.

Fecha de siembra

La fecha de siembra en las bandejas germinadoras fue el 11 diciembre del 2018 posteriormente el trasplante se realizó el 2 de enero del 2019 en horas de la mañana.

Siembra y trasplante de la lechuga

La siembra de la semilla se la hizo en bandejas germinadoras utilizando como medio de sostén y germinación un sustrato agrícola a base de fibra de coco a una profundidad de 0,5 cm. El trasplante de las plántulas se lo realizó a partir del día 25, luego se procedió a sacar las plantas del semillero con cuidado y a su vez hacer el lavado de las raíces minuciosamente para eliminar todo índice del sustrato utilizado así evitando que se contamine el medio acuoso donde estuvieron aplicados los tratamientos. Las plantas fueron colocadas dentro de pequeños vasos plásticos y dentro de ellos un pedazo de esponja como sostén para planta, se las colocó a una distancia de 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras. Ver foto en Anexo 5.

Oxigenación del agua

La oxigenación del agua se la hizo tres veces al día en intervalos de cada 4 horas en las primeras 4 semanas después del trasplante cabe recalcar que se consideró realizar este intervalo de oxigenación según investigaciones realizadas por Hydroenvironment (2015), que obtuvieron resultados satisfactorios utilizando los horarios de oxigenación establecidos, luego se hizo un cambio a intervalos de cada 3 horas empezando desde las 8 de la mañana, por motivos de la elevada temperatura que se registró dentro del invernadero, el movimiento o burbujeo del agua se lo realizó por 30 minutos para cada intervalo utilizando bombas de agua ya instaladas dentro de las unidades experimentales. Ver foto en Anexo 6.

Cambio del agua y remoción de la solución nutritiva

El cambio del agua se lo hizo en conjunto con la solución nutritiva cada quince días, la eliminación del agua se la hizo manualmente con recipientes plásticos, luego de este proceso se procedió a llenar nuevamente los recipientes de madera con la ayuda de una manguera conectada a una llave de agua. Cada recipiente almacenó 100 litros de agua.

Concentración nutritiva

Cabe recalcar que la concentración nutritiva estándar se utilizó mediante la recomendación de FAO (Food and Agriculture Organization), en una investigación realizada en Chile. Mientras que para las otras 2 soluciones se tomó como recomendación investigaciones realizadas por Delgado (2016) y Gutiérrez (2011) en el cual se aumenta de la concentración estándar el 50% para obtener la concentración nutritiva media y para la concentración alta se consideró aumentar el 100% de la solución estándar. Para determinar si mediante el aumento de la concentración nutritiva hay aumento de producción de lechuga hidropónica.

Registro de temperatura y humedad dentro del invernadero

Se tomaron datos de temperatura y humedad relativa con la ayuda de un termómetro de máxima y mínima ubicado en un lugar estratégico del invernadero en un lapso de tres veces al día, la primera toma de datos se registró a las 8 de la mañana, la segunda se registró a las 12 de día y la tercera se registró a partir de las 4 de la tarde, este proceso de lo realizó desde que las plantas se encontraban en semillero. Ver foto en Anexo 7.

Cosecha

La labor de cosecha de las lechugas hidropónicas se la realizó manualmente a los 75 días desde que se hizo la siembra en el semillero, se adelantó la cosecha por motivo de la alta temperatura que se registraba y esto ocasionó escaldamiento en las hojas bajas de las plantas de todos los tratamientos y este problema avanzaba progresivamente. Ver foto en Anexo 8.

3.8.2. Datos registrados y forma de evaluación

Número de plantas que no sobrevivieron al trasplante

Esta variable se la tomó 7 días después de trasplante y se contabilizó el número de plantas muertas en cada tratamiento.

Tasa de crecimiento radicular (cm/semana)

La tasa de crecimiento se la tomó por 7 días seguidos, a partir del séptimo día hasta el día trece después de trasplante midiendo las raíces con una regla graduada.

Longitud radicular a la cosecha (cm)

Con una regla graduada se midió la longitud radicular, desde el cuello hasta el extremo del haz radicular en su conjunto.

Número de hojas sanas a la cosecha

Se contabilizó el número de hojas sanas de forma manual tomando en cuenta para este dato todas las plantas totales de los tratamientos en estudio.

Número total de hojas producidas

Se contabilizaron las hojas totales producidas, valoradas como hojas sanas y secas, esta variable se tomó a todas las plantas totales de cada tratamiento.

Longitud de hojas a la cosecha (cm)

Se registró esta variable por medio de una regla graduada a todas las plantas totales de cada tratamiento en estudio, desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja.

Peso de raíz fresca a la cosecha (gramos)

Se obtuvo el peso de la raíz fresca una vez terminado el ciclo del cultivo, apenas se cosechó la planta se procedió a pesar las raíces individualmente.

Peso de raíz seca (gramos)

Después de dos días de tomado el dato de raíz fresca se dejó secar las raíces para tomar el dato de raíz seca de cada planta y tratamientos en estudio.

Peso de planta a la cosecha (gramos)

Este dato se lo tomó a todas las plantas totales de las unidades experimentales en estudio, poniendo cada planta por unidad en una balanza electrónica obteniendo su peso en gramos.

Análisis económico

El análisis económico se realizó considerando los costos de cada uno de los tratamientos en estudio, para luego hallar la relación beneficio/costo utilizando la siguiente formula:

$$B/C = \frac{I.B}{C.T}$$

Dónde:

B/C: Relación beneficio – costo

I.B.: Ingreso bruto

C.T.: Costo total

3.9. Recursos humanos y materiales

A continuación se detallan los equipos y materiales utilizados en el experimento:

3.9.1. Equipos

- Bomba de aire
- Balanza electrónica
- Computadora
- Cámara fotográfica
- Termómetro de máxima y mínima

3.9.2. Materiales

- Madera
- Clavos
- Martillos
- Plástico negro

- Espuma Flex
- Vasos plásticos
- Esponja
- Sustrato de fibra de coco
- Bandejas germinadoras
- Solución nutritiva
- Fundas plásticas

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Número de plántulas que no sobrevivieron al trasplante

En la Tabla 5 se muestran los promedios correspondientes al número de plantas muertas después de trasplante; no se observan diferencias estadísticas entre medias en tratamiento para esta variable. El alto coeficiente de variación revela que la variabilidad del número de plantas muertas que no sobrevivieron al trasplante fue amplia, siendo el coeficiente de variación igual a 88,35 %.

Tabla 5. Promedios de número de plántulas de lechuga que no sobrevivieron al trasplante aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Número de plantas muertas después de trasplante
Concentración baja (Estándar)	0,00 a
Concentración media (50% +)	2,00 a
Concentración alta (100% +)	2,00 a
Promedio	1,33
Coeficiente de variación %	88,35

4.1.2. Tasa de crecimiento radicular (cm/semana)

En la tabla 6 se presentan los promedios de la tasa de crecimiento radicular semanal. Los tratamientos mostraron diferencia estadística entre ellos, siendo el coeficiente de variación igual a 10,90 %. La tasa de crecimiento más alta se dio con la concentración 1, que es la solución con la más baja concentración de nutrientes.

Tabla 6. Promedios de la tasa de crecimiento (cm/semana) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Tasa de crecimiento radicular (cm/semana)
Concentración baja (Estándar)	1,37 a
Concentración media (50% +)	0,97 b
Concentración alta (100% +)	1,10 b
Promedio	1,15
Coeficiente de variación %	10,90

4.1.3. Longitud radicular a la cosecha (cm)

En la Tabla 7 se muestran los promedios de la longitud radicular a la cosecha. Los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales, con el coeficiente de variación igual a 13,45 %.

Tabla 7. Promedios de la longitud radicular a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Longitud radicular a la cosecha (cm)
Concentración baja (Estándar)	35,67 a
Concentración media (50% +)	29,00 a
Concentración alta (100% +)	29,67 a
Promedio	31,45
Coeficiente de variación %	13,45

4.1.4. Número de hojas sanas a la cosecha

En la Tabla 8 se presentan los promedios del número de hojas sanas a la cosecha. Los tratamientos no presentaron diferencia estadística entre ellos, siendo el coeficiente de variación igual a 16,58 %.

Tabla 8. Promedios del número de hojas sanas a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Número de hojas sanas a la cosecha
Concentración baja (Estándar)	6,00 a
Concentración media (50% +)	6,00 a
Concentración alta (100% +)	8,00 a
Promedio	6,66
Coeficiente de variación %	16,58

4.1.5. Número total de hojas producidas

En la Tabla 9 se muestran los promedios del número de hojas producidas. Los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales, El coeficiente de variación es igual a 15,73 %.

Tabla 9. Promedios de número total de hojas producidas de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Número total de hojas producidas
Concentración baja (Estándar)	16,00 a
Concentración media (50% +)	16,00 a
Concentración alta (100% +)	18,00 a
Promedio	16,66
Coeficiente de variación %	15,73

4.1.6. Longitud de hojas a la cosecha (cm)

En la Tabla 10 se presentan los promedios de longitud de hojas a la cosecha. Las diferencias estadísticas entre tratamientos estuvieron ausentes. El coeficiente de variación es igual a 9,66 %.

Tabla 10. Promedios de longitud de hojas a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Longitud de hojas a la cosecha
Concentración baja (Estándar)	13,63 a
Concentración media (50% +)	13,30 a
Concentración alta (100% +)	14,63 a
Promedio	13,85
Coeficiente de variación %	9,66

4.1.7. Peso de raíz fresca a la cosecha (gramos)

En la Tabla 11 se muestran los promedios de peso de raíz fresca (g) a la cosecha. Los tratamientos se comportaron estadísticamente iguales para esta variable, con un coeficiente de variación igual a 37,74 %.

Tabla 11. Promedios del peso de raíz fresca a la cosecha (g) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Peso de raíz fresca a la cosecha (g)
Concentración baja (Estándar)	6,93 a
Concentración media (50% +)	6,13 a
Concentración alta (100% +)	7,87 a
Promedio	6,98
Coeficiente de variación %	37,74

4.1.8. Peso de raíz seca (gramos)

En la Tabla 12 se presentan los promedios del peso de raíz seca (g). Los tratamientos fueron estadísticamente iguales entre sí, con un coeficiente de variación de 89,83 %.

Tabla 12. Promedios del peso de raíz seca (g) de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Peso de raíz seca (g)
Concentración baja (Estándar)	1,27 a
Concentración media (50% +)	1,73 a
Concentración alta (100% +)	1,90 a
Promedio	1,63
Coeficiente de variación %	89,83

4.1.9. Peso de planta a la cosecha (gramos)

En la Tabla 13 se presentan los promedios del peso de planta a la cosecha, las diferencias estadísticas entre tratamientos estuvieron ausentes. El coeficiente de variación es igual a 59,41 % y revela una amplia variabilidad para esta variable ya que significa que la desviación estándar (error experimental) representa más de la mitad de la media de los tratamientos.

Tabla 13. Promedios del peso de planta (g) a la cosecha de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Peso de planta a la cosecha (g)
Concentración baja (Estándar)	14,10 a
Concentración media (50% +)	12,20 a
Concentración alta (100% +)	14,07 a
Promedio	13,46
Coeficiente de variación %	59,41

4.1.10. Análisis económico

En la Tabla 14 se presentan los resultados del análisis económico de cada uno de los tratamientos en estudio donde el valor de la lechuga por kg es de 1,50. El mayor ingreso bruto lo obtuvo el T1 que presentó un valor de 5534,25 \$ y beneficio neto de 1351 \$.

Tabla 14. Análisis económico y costos de producción por hectárea de lechuga aplicando concentraciones crecientes de una solución nutritiva.

Tratamientos	Rendimiento kg/ha -1	IB	C/t	C/V	C/T	BN	RB/C
Concentración estándar	3525	5534,25	84	436,5	3936,5	1351	1,34
Concentración media (50% +)	3050	4788,5	96	401	3901	674	1,17
Concentración alta (100% +)	3517	5521,69	111,5	463,2	3963,2	1312,3	1,33

4.2. Discusión

La ausencia de respuesta al incremento de la concentración nutritiva sugiere que la concentración que se tomó como línea base en este estudio fue adecuada como fuente de una cantidad suficiente de nutrientes que satisfizo la demanda del cultivo durante su crecimiento. Después de todo varios autores (FAO, 1990; Cooper, 1979) coinciden en confirmar que la concentración de la solución nutritiva utilizada como base para construir las soluciones nutritivamente más concentradas, funciona como una solución estándar para la producción hidropónica de lechuga, la cual está conformada de: Nitrato de potasio (275 g), nitrato de calcio (520 g), fosfato mono amónico (85 g) disueltos en 10 litros de agua; sulfato de magnesio (269 g), ácido bórico (1,55 g), sulfato de manganeso (0,62), sulfato de zinc (0,30 g) disueltos en 4 litros de agua conformando un conjunto de concentración nutritiva, los resultados obtenidos al utilizar la concentración nutritiva estándar también coincide con varios autores que han utilizado soluciones nutritivas parecidas a la estándar en investigaciones científicas, respaldan esta aseveración (Delgado, 2016; Gutiérrez, 2011).

Sin embargo, la variabilidad observada en los parámetros de crecimiento para las repeticiones de un mismo tratamiento, también sugieren que durante el día ocurrieron cambios ambientales extremos que sometieron a las plantas a condiciones de estrés fisiológico. Estas condiciones extremas estimularon la excesiva transpiración de la lechuga, cuyas hojas se fueron gradualmente escaldando y finalmente terminaron secas (Ver foto en Anexo 12). Temperaturas tan altas como 39°C al ambiente, valores de humedad relativa tan bajas como el 65% que se registraron en el interior del invernadero donde se llevó a cabo el estudio, respalda esta hipótesis (Ortiz, 2007).

Finalmente, al parecer también ocurrió una variación espacial de los niveles de temperatura y humedad ambiental que exacerbaron el efecto de estos extremos ambientales en sectores del invernadero que recibieron más luminosidad al encontrarse más expuestos a la radiación solar que otros sectores cercanos que estuvieron influenciados de un muro de cerramiento. Se puede deducir que el invernadero donde se realizó el trabajo experimental no tuvo las condiciones de espacio y a su vez la poca altura de la estructura no fue beneficiosa para mantener la temperatura y humedad ambiental adecuada y así poder obtener un desarrollo óptimo del cultivo de lechuga bajo condiciones de hidroponía.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El peso de las plantas de lechuga no respondió al incremento de la concentración nutritiva donde el resultado de pesos de planta fue de 14,10 gramos para el T1 (Concentración estándar); 12,20 gramos para el T2 (Concentración media 50% +) y 14,07 gramos obtenidos del T3 (Concentración alta 100% +).
- La concentración nutritiva que estuvo asociada a la producción máxima en cuanto al rendimiento por hectárea fue el T1 (Concentración estándar) cuyo resultado fue de 3525 kg/ha; el tratamiento de menor rendimiento fue el T2 (Concentración media 50%+) con rendimiento de 3050 kg/ha.

5.2. Recomendaciones

- Los extremos ambientales observados dentro del invernadero y que pudieron haber influido en los resultados del estudio sugieren la necesidad de conducir este tipo de trabajo bajo condiciones ambientales más controladas, particularmente en cuanto a la variación de temperatura y humedad relativa, condiciones frente a las cuales la lechuga y posiblemente otras hortalizas de hojas, son muy sensibles.
- Se recomienda usar otras concentraciones nutritivas por debajo de la estándar para posteriores investigaciones y a su vez determinar si mediante la disminución de la concentración los resultados son favorables en cuanto al peso del cultivo de lechuga.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

- Álvarez, Á. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño. Medellín.
- Arcos, B. (2011). EVALUACIÓN DE DOS SUSTRATOS Y DOS DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN CONDICIONES HIDROPÓNICAS BAJO INVERNADERO EN LECHUGA *Lactuca sativa* L. Dialnet, 14.
- Barrios, N. (2004). Evaluación del cultivo de la lechuga. *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Basterrechea, M. (2015 de Enero de 2015). Hidroponía casera. Recuperado el 26 de Mayo de 2019, de <https://www.hidroponiacasera.net/aeroponia-la-guia-basica/>
- Beltrano, J. (2015). Cultivo en hidroponía. La Plata: Edulp.
- Cacarán, M. (2013). Prospección de especies vegetales con principios biocidas para el control de babosas (*Deroceras* sp.) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L). Santa Cruz, Galapagos. (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Cajo, A. (2016). Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas (tesis de pregrado) . Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Ecuador.
- Casaca, Á. (2005). Guías tecnológicas de frutas y vegetales. Costa Rica. Boletín. 34p.
- Cazorla, A. (2010). Estudio bioagronómico de catorce cultivares de lechuga tipo mantecosa (*Lactuca sativa* L.), en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (tesis de pregrado). Riobamba, Ecuador.
- Díaz, S. (2010). Cultivo hidropónico de lechuga. Horticom, 10.
- Gilsanz, J. (2007). Hidroponía. Montevideo: Andes. 120p.
- Guanochanga, S. (2010). Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de lechugas hidropónicas en la Ciudad de Quito. (tesis de pregrado). Quito.

- Gutierrez, J. (2011). Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva (tesis de pregrado). Chapingo, Mexico.
- Guzmán, G. (2004). Hidroponía en casa: una actividad familiar. San José, Costa Rica.
- Hydroenvironment. (21 de Noviembre de 2015). Hidroponia.mx. Recuperado el 26 de Mayo de 2019, de <http://hidroponia.mx/hidroponia-en-que-consiste-el-sistema-de-raiz-flotante/>
- IICA. (2007). Guía Práctica de Exportación de Lechuga a los Estados Unidos. Managua, Honduras.
- Latino, G. (2010). Manual de cultivos hidropónicos. Colombia. 89 p.
- Lema, D. (2017). Evaluación de tres soluciones nutritivas en hidroponía en el cultivo de lechuga (*Lactuca saliva* L.) var. crispa, en invernadero, departamento de horticultura, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo (tesis de pregrado). Riobamba, Ecuador.
- León, G. (2006). Guía para los cultivos en invernadero. México: 2da edición. 67p.
- Martínez, G. O. (2012). Oxigenación de las solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. Revista Fitotecnia Mexicana, 49-52.
- Montesdeoca, N. (2009). Caracterización física, química y funcional de la lechuga rizada (*Lactuca sativa* variedad crispa), para la creación de una Norma Técnica Ecuatoriana, por parte del Instituto Ecuatoriano de Normalización 2008. (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Prado, P. (2013). Hidroponía: una alternativa amable con el medio ambiente y el desarrollo sustentable. Guadalajara: UPN.
- Resh, H. (2004). Cultivos hidroponicos: Nuevas técnicas de producción. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Reyes, C. (2009). Evaluación de híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía aplicando bioestimulantes jisamar en el Cantón La Libertad (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad.
- Saavedra, G. (2017). Manual de producción de lechuga. Santiago: INIA - INDAP.

Silva, G. C., & Sandoval Briones, C. (2016). Manual práctico del cultivo de la lechuga. Madrid: Mundi-Prensa.

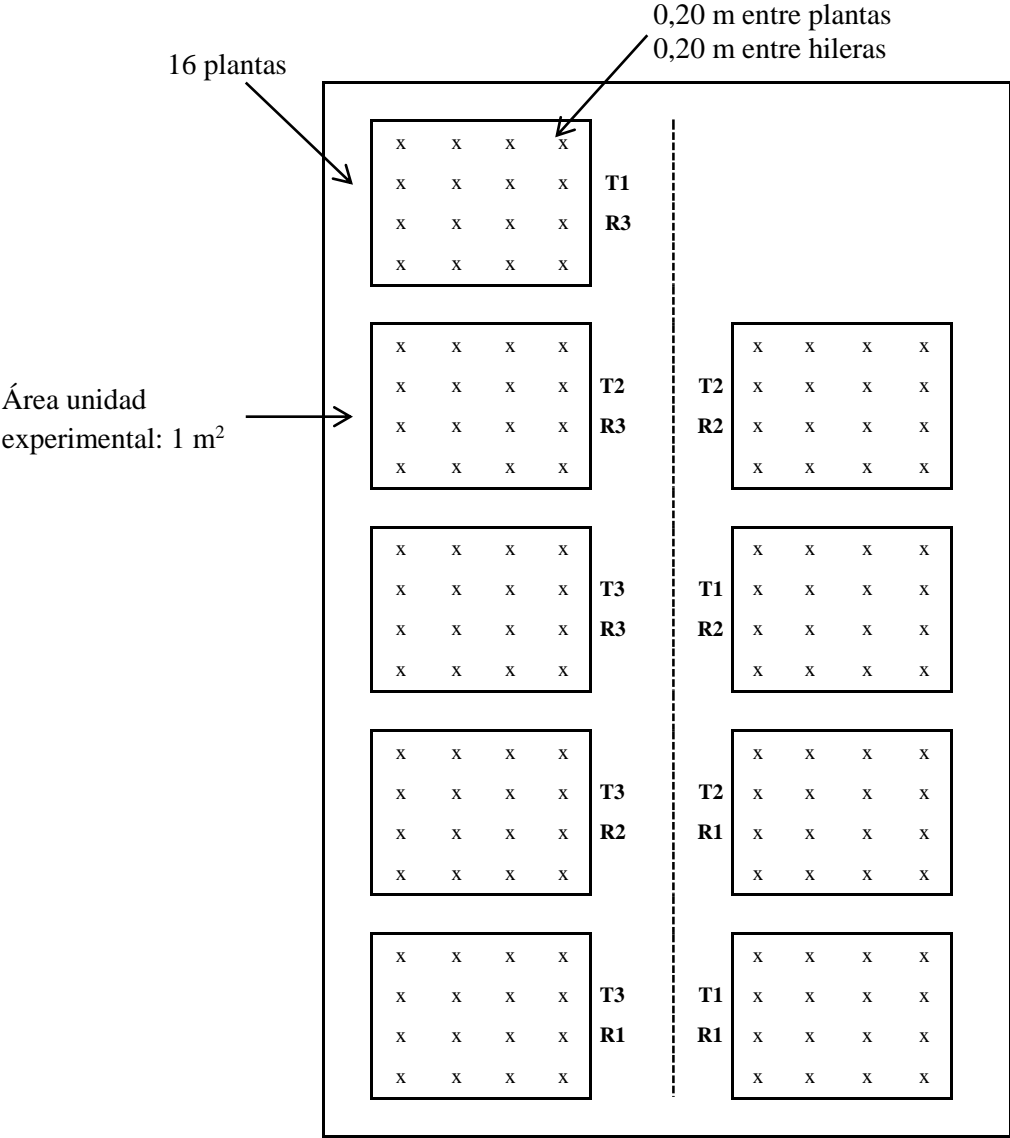
Theodoracopoulos, M., Lardizabal, R., & Arias, S. (2009). Producción de lechuga. Honduras. 175p.

Verdegen. (8 de Abril de 2017). Generación verde. Recuperado el 7 de Julio de 2017, de <https://generacionverde.com/blog/hidroponia/ventajas-de-la-hidroponia/>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Croquis distribución de las unidades experimentales dentro del invernadero.



Anexo 2. Resumen de resultados del desempeño de las plantas de lechuga con crecientes concentraciones de una solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

Tratamientos	# plántulas que no sobrevivieron al trasplante	Tasa de crecimiento radicular	Longitud de raíz (cm)	Número de hojas sanas	Número de hojas producidas	Longitud de hoja (cm)	Peso de raíz fresca (gramos)	Peso de raíz seca (gramos)	Peso de planta (gramos)
Concentración baja (Estándar)	0,00 a	1,37 a	35,67 a	6,00 a	16,00 a	13,63 a	6,93 a	1,27 a	14,10 a
Concentración media (50% +)	2,00 a	0,97 b	29,00 a	6,00 a	16,00 a	13,30 a	6,13 a	1,73 a	12,20 a
Concentración alta (100% +)	2,00 a	1,10 b	29,67 a	8,00 a	18,00 a	14,63 a	7,87 a	1,90 a	14,07 a
Media	1,33	1,15	31,45	6,66	16,66	13,85	6,98	1,63	13,46
C.V	88,35	10,90	13,45	16,58	15,73	9,66	37,74	89,33	59,41

Anexo 3. Construcción de los recipientes hidropónicos dentro del invernadero y posterior instalación de plástico negro.



Anexo 4. Material genético utilizado en la investigación.



Anexo 5. Realización de semillero y posterior transplante de las plantas de lechuga.



Anexo 6. Oxigenación del agua mediante bombas de pecera.



Anexo 7. Registro de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.



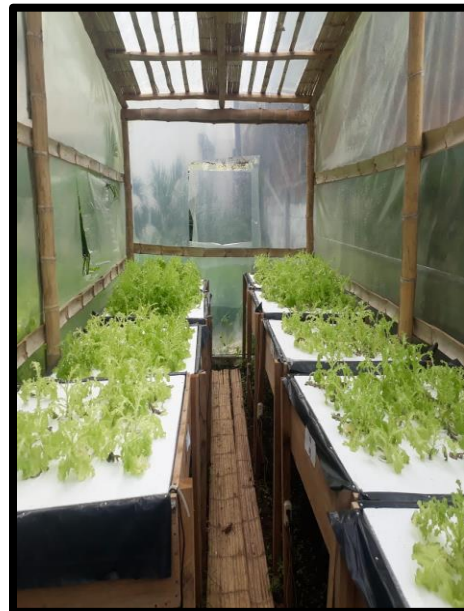
Anexo 8. Cosecha de las plantas de lechuga y posterior registro de datos para evaluación.



Anexo 9. Plantas de lechuga a los 15 días después de transplante.



Anexo 10. Plantas de lechuga a los 30 días después de transplante.



Anexo 11. Plantas de lechuga a los 35 días después de transplante presentando problemas de escaldamiento.



Anexo 12. Plantas de lechuga a los 45 días después de transplante presentando problemas de escaldamiento.



