



Evaluación de soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*) para agricultura urbana

Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí y Tamayo Espinosa, Roxana Mishell

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniería Agropecuaria

Ing. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio Msc.

06 de septiembre del 2021



Document Information

Analyzed document	NATHALY_ROXANA_TESIS_ URKUND.docx (D111979161)
Submitted	9/2/2021 3:44:00 PM
Submitted by	
Submitter email	biblioteca@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	ilbbioteca.GDC@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://docplayer.es/65030655-Universidad-de-el-salvador-facultad-de-ciencias-agronomicas.html Fetched: 6/25/2021 5:37:09 AM	 1
W	URL: https://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Manual_Soln_Nutritivas.pdf Fetched: 9/2/2021 3:45:00 PM	 3
SA	Grupo Difusión Científica / TESIS URKUND POLO J - LOOR S.docx Document TESIS URKUND POLO J - LOOR S.docx (D111978831) Submitted by: biblioteca@espe.edu.ec Receiver: ilbbioteca.GDC@analysis.orkund.com	 3
W	URL: https://docplayer.es/84866630-Universidad-mayor-de-san-andres-facultad-de-agronomia-carrera-de-ingenieria-agronomica.html Fetched: 6/26/2021 3:42:24 AM	 1

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**EDUARDO
PATRICIO VACA
PAZMINO**

.....
Ing. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio, Mgs.

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO**

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, “**Evaluación de soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*) para agricultura urbana**” fue realizado por las señoritas **Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí y Tamayo Espinosa, Roxana Mishell**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Santo Domingo, 06 de septiembre de 2021

Firma:



.....
Firmado electrónicamente por:
EDUARDO
PATRICIO VACA
PAZMINO

Ing. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio, Mgs.

C.C. 1802127355



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, **Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí** y **Tamayo Espinosa, Roxana Mishell**, cédulas de ciudadanía n° 2300314107, y n° 1718899626, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Evaluación de soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y acelga (*Beta vulgaris var. Cicla*) para agricultura urbana** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo, 06 de septiembre de 2021

Firma

Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí

C.C.: 2300314107

Firma

Tamayo Espinosa, Roxana Mishell

C.C.: 1718899626



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotras **Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí, y Tamayo Espinosa, Roxana Mishell**, con cédulas de ciudadanía n° 2300314107 y n°1718899626 respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Título: Evaluación de soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*) para agricultura urbana**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo, 06 de septiembre de 2021

Firma

Manríquez Cuaical, Nathaly Sinaí

C.C.: 2300314107

Firma

Tamayo espinosa, Roxana Mishell

C.C.: 1718899626

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, quien me ha acompañado y guiado en cada paso que doy en la vida, dándome la fuerza para enfrentar cada reto que se presente.

A mis padres Fabiola Espinosa y José Luis Tamayo, quienes han confiado e impulsado mis capacidades, apoyándome en cada paso que doy, dándome su amor, ejemplo de fortaleza y lo mejor de sí.

A mis hermanos Francisco, Carlos y John quienes con su ejemplo, cariño y apoyo, me han impulsado a mejorar cada día, a la memoria de mi abuelo Miguel Espinosa, quien fue el primero en mostrarme las virtudes del campo y que con trabajo y esfuerzo se pueden conseguir grandes cosas, y especialmente dedico este logro a la memoria de mi hermano Miguel Pineiros, quien me supo cuidar y aconsejar durante su vida, siendo ejemplo de constancia, humildad y humanidad, quien me apoyo cuando inicié este camino, pero la vida no le permitió verme terminar esta fase a su lado.

A toda mi familia, mi cuñada Cecibel, mis primos, tías, madrina, mis hermanos Geobana, Diego, Karina, Marco, Ivón quienes, a pesar de todo, han estado pendientes de mi bienestar apoyándome de una u otra forma y a todos los que han confiado en mí.

Roxana Mishell Tamayo Espinosa

Dedicatoria

Principalmente, dedico este logro a Dios, quien me ha dado la posibilidad de cumplir esta meta.

A mi madre Elsy Cuaical y a mi padre Rigoberto Manríquez; por su amor tan grande hacia mí, su comprensión, paciencia, apoyo incondicional, por ser mi inspiración, mi guía, mi ejemplo a seguir y por su lucha diaria para ayudarme en lo que he necesitado.

A mi hermano Josué por el apoyo y la confianza que ha puesto en mí y a mi hermana Kathya, mi Chavelita, por ser mi compañera de vida, permitiéndome ser su guía como hermana mayor. Dedico con todo mi corazón esta meta a quien en vida fue mi abuelo Juan Cuaical, quien siempre creyó en mí, con quien pensé compartir este momento y no lo pude hacer, y a quien siempre voy a recordar.

A mis familiares y amigos por su ayuda, confianza y cariño sincero durante todo este proceso de desarrollo personal y profesional.

A mi compañera y amiga Roxana, por el trabajo conjunto que hemos realizado para que este logro sea posible.

Este logro es de cada uno de ustedes porque siempre confiaron en mí.

Nathaly Sinaí Manríquez Cuaical

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios quien me ha permitido vivir esta experiencia y me ha impulsado para no rendirme, siendo el motor de mi vida.

A mi familia que me han apoyado y han confiado en mí durante toda mi vida, carrera universitaria y el desarrollo de este trabajo, a quienes debo todo lo que soy.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, que me dio la oportunidad de estudiar con altos niveles de calidad, donde tuve la oportunidad de conocer a amigos y personas magníficas, que marcaron mi vida, a los docentes, que me han formado como profesional, contribuyendo a mi desarrollo personal, con su ejemplo de dedicación y humanidad, exigiéndome dar lo mejor en cada trabajo, y responsabilidad que me han encomendado.

Al Ingeniero Patricio Vaca, por su apoyo, confianza, paciencia y por las enseñanzas que nos ha compartido, las cuales han sido cruciales durante mi formación y culminación de este trabajo.

A mis amigos que han sido parte de esta experiencia y juntos hemos pasado por tantas cosas, dejando en mi enseñanzas y momentos inolvidables, especialmente a Nathaly con quien tuve la oportunidad de compartir gran parte de esta fase de mi vida y con quien llevé a cabo este trabajo.

Gracias a todas las personas que me han apoyado durante esta hermosa fase, y solo me queda decirles Dios les pague por todo.

Roxana Mishell Tamayo Espinosa.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme salud, vida y fortaleza en los momentos de dificultad.

A mis padres y hermanos por su apoyo, valores, principios inculcados, por ser una parte crucial en este trayecto de mi vida, por su confianza y por acompañarme a cumplir mis sueños.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por abrirme sus puertas y por permitirme ser parte de un grupo selecto de futuros profesionales, humanistas y con pensamiento crítico.

A mis docentes por compartir sus conocimientos, enseñanzas y experiencias vividas a lo largo de sus carreras, con ello lograron que día a día me apasione más por la carrera que elegí, que crezca como profesional y por supuesto quiero agradecerles por su amistad. Mi sincero agradecimiento al Ing. Patricio Vaca, por su guía, paciencia y amistad brindada durante el desarrollo de esta investigación.

A Roxana, que, a más de ser mi compañera, es mi amiga, por su apoyo incondicional.

A toda mi familia, amigos, y a todos quienes de una u otra manera contribuyeron con mi desarrollo profesional a lo largo del trayecto para culminar esta meta.

Nathaly Sinaí Manríquez Cuaical

Índice de Contenidos

Carátula.....	1
Análisis urkund.....	2
Certificado del director	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Índice de Contenidos	10
Índice de Tablas.....	13
Índice de Figuras	14
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Capítulo I.....	17
Introducción.....	17
Capítulo II.....	20
Revisión de Literatura.....	20
Seguridad Soberanía Alimentaria.....	20
Agricultura urbana.....	21
Importancia del consumo de hortalizas para la nutrición balanceada.....	22
Historia de la hidroponía	23
La hidroponía	23
Sistemas hidropónicos abiertos y cerrados.....	24
Ventajas.....	25
Desventajas.....	25

Sistema hidropónico líquido.....	25
Técnica de película de nutrientes (NFT).....	25
Hidroponía flotante	25
Aeroponía.....	25
Tamaño de la gota y boquillas en aeroponía	28
Retos de los sistemas aeropónicos.....	28
Soluciones nutritivas	29
Características de la solución nutritiva	30
PH	30
Presión osmótica.....	31
Conductividad eléctrica	31
Temperatura de la solución nutritiva.....	31
Contenido de oxígeno	32
Preparación de soluciones nutritivas.....	32
Lechuga.....	33
<i>Lactuca sativa L. var. acephala Dill</i>	34
Requerimientos nutricionales	34
Solución nutritiva	34
Comportamiento fisiológico de la lechuga en sistemas hidropónicos.....	35
Acelga (<i>Beta vulgaris L.</i>).....	36
Solución nutritiva para acelga	36
Comportamiento fisiológico de la acelga en sistemas hidropónicos.....	36
Capítulo III.....	38
Materiales y Métodos.....	38
Ubicación del lugar de investigación	38
Ubicación política	38
Ubicación geográfica.....	38

Ubicación ecológica.....	39
Materiales	39
Insumos	40
Métodos.....	40
Diseño experimental.....	40
Análisis estadístico	42
Variables a medir.....	44
Métodos	45
Capítulo IV	48
Resultados y Discusión	48
Número de hojas.....	48
Altura de la planta	51
Peso de la planta (g).....	54
Longitud de raíz (cm)	57
Evaluación de producción.....	60
Contenido de fibra y proteína.....	63
Relación costo-beneficio.....	65
Capítulo V	68
Conclusiones y Recomendaciones.....	68
Conclusiones	68
Recomendaciones.....	69
Capítulo VI	70
Bibliografía	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de la Lechuga.....	34
Tabla 2. Solución nutritiva	34
Tabla 3. Solución nutritiva recomendado para el cultivo de acelga hidropónica.	36
Tabla 4. Materiales empleados para la fabricación del sistema y la producción.	39
Tabla 5. Factores de evaluación.	40
Tabla 6. Descripción de los elementos de cada nivel del factor A.	41
Tabla 7. Tratamientos a comparar.	41
Tabla 8. Análisis de varianza.....	43
Tabla 9. Fuentes empleadas para la composición de la solución nutritiva.	46
Tabla 10. Análisis de varianza de la variable número de hojas, evaluando tres concentraciones de soluciones nutritivas en dos especies diferentes, lechuga y acelga.	48
Tabla 11. Análisis de varianza de la variable altura de planta, evaluando tres soluciones nutritivas en dos especies.	51
Tabla 12. Análisis de varianza de la variable peso de la planta, en la evaluación de soluciones nutritivas en dos especies, lechuga y acelga.	54
Tabla 13. Análisis de varianza para la variable de longitud de raíz, evaluando soluciones nutritivas en lechuga y acelga.	57
Tabla 14. Análisis de varianza de la variable rendimiento (kg), evaluando tres soluciones nutritivas en dos especies.	60
Tabla 15. Relación beneficio/costo por tratamiento.....	65
Tabla 16. Relación costo/beneficio del sistema y la producción en base al cultivo de lechuga.....	67

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de la investigación.....	38
Figura 2. Prueba de Tukey sobre la variable, número de hojas según el factor soluciones nutritivas.	49
Figura 3. Prueba de Tukey al 5% enfocado en el factor especies, de la variable de número de hojas.	50
Figura 4. Prueba de Tukey de la altura de la planta, en el factor evaluado dosis de soluciones nutritivas, en dos especies.	52
Figura 5. Prueba de Tukey para la altura de la planta, en el factor especies, en el estudio de soluciones nutritivas en dos especies lechuga y acelga.....	53
Figura 6. Prueba de Tukey para la variable de peso (g) de la planta, en el estudio de dosis de soluciones nutritivas en dos especies, lechuga y acelga.....	55
Figura 7. Peso de la planta según la especie, al cabo de 44 días, tras evaluar soluciones nutritivas en dos especies.	56
Figura 8. Prueba de Tukey para la variable longitud de la raíz, en la evaluación de soluciones nutritivas.	58
Figura 9. Prueba Tukey en la variable longitud de raíz, según la especie.....	59
Figura 10. Prueba Tukey sobre el rendimiento productivo, medias en la interacción Solución Nutritiva x Especie.	61
Figura 11. Contenido de proteína en cada tratamiento.	63
Figura 12. Contenido de fibra en cada tratamiento.....	64
Figura 13. Relación beneficio/costo por tratamiento.....	66

Resumen

Evaluar soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla*) para agricultura urbana es generar información útil para los productores, la investigación se realizó en Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo Ecuador, coordenadas UTM: 700123,5 mE, 9970563,4 mN; a 625 msnm, precipitación anual promedio 3150 mm, temperatura 25 °C y HR 85%. Se evaluaron tres soluciones nutritivas para hortalizas, también la viabilidad económica de sistemas aeropónicos para producción de hortalizas de hoja, se determinó el costo – beneficio de los tratamientos evaluados en base a soluciones al 100%, 90% y 80% para lechuga y acelga, el diseño estadístico utilizado fue un DCA con un arreglo bi factorial AxB, evaluando seis tratamientos de tres soluciones en dos especies, cada una con cuatro observaciones por tratamiento, utilizándose Tukey al 5%, se obtiene como resultado que el tratamiento al 100%, fue el mejor, con producciones de 1,65 kg/ 2m² en lechuga, en 44 días, con 20,13 hojas por planta, altura 29,76 cm, peso 36,95 g, longitud de raíz 38,98 cm, muestra mayor adaptación la lechuga, pues rinde 1,65 kg/ 2m², la acelga 0,43 kg/ 2m² en igual período productivo; El mejor contenido de proteína y fibra en la lechuga tiene la solución al 100% con 1,42% y 1,04% respectivamente y la acelga la solución al 100% y 80% con 1,89% y 1,1%, el análisis costo - beneficio muestra que el tratamiento al 100%, tiene un ingreso neto de 0,73 ctvs por cada dólar invertido.

Palabras clave:

- **AEROPONÍA**
- **LECHUGA**
- **ACELGA**
- **SOLUCIÓN NUTRITIVA**

Abstract

Evaluating nutritional solutions for aeroponic systems in lettuce (*Lactuca sativa L.*) and chard (*Beta vulgaris var. Cicla*) crops for urban agriculture is to generate useful information for producers, the research was carried out in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas, Santo Domingo canton, UTM coordinates: 700123,5mE 9970563,4 mN; at 625 masl, average annual precipitation 3150 mm, temperature 25 °C and RH of 85%. Three nutritional solutions for the vegetables were evaluated, as well as the economic viability of aeroponic systems for the production of leafy vegetables, the cost – benefit of the evaluated treatments was determined based on 100%, 90% and 80% solutions for the lettuce and chard, the statistical design used was a DCA with a bi – factorial AxB arrangement, evaluating six treatments of three solutions in two species, each with four observations per treatment, using Tukey al 5%, it is obtained as a result that the treatment at 100% was the better, with productions of 1,65 kg/2m² in lettuce, in 44 days, with 20,13 leaves per plant, height of 29,76 cm, weights 36,95g, root length 38,98 g, shows greater adaptation to the lettuce, since chard yields 1,65 kg/2m², 0,43 kg/2m² in the same productive period; the best protein and fiber content in lettuce has the 100% solution with 1,42% and 1,04% respectively and 80% solution with 1,89% and 1,1%, the Cost – benefit analysis shows that the 100% treatment has a net income of 0,73 ctvs for every dollar invested.

Keywords:

- **AEROPONICS**
- **LETTUCE**
- **CHARD**
- **NUTRITIVE SOLUTION**

Capítulo I

Introducción

En Ecuador el principal limitante para acceder a la seguridad alimentaria ha sido la poca capacidad económica de los ecuatorianos para acceder a la canasta básica, la producción alimentaria no es el problema, ya que el país produce un volumen superior frente a la demanda del país, presentado un crecimiento del 4,9% el PIB agrícola frente al aumento de la población de 1,5%, sin embargo el 8% de las familias no tiene la capacidad económica para conseguir la cantidad y calidad de alimentos que necesitan, registrándose que a 3 de cada 10 familias en Ecuador se les complica pagar sus alimentos (Calero, 2011). Otro factor que influye y vulnera la seguridad alimentaria en el Ecuador, es el gran número de refugiados en el país, acumulándose en zonas urbanas, del cual se estima que cerca 30% se encuentran en la ciudad de Quito, el resto viven en ciudades como Guayaquil, Cuenca y Santo Domingo (FLACSO , 2011); incrementando la preocupación de la seguridad alimentaria para el área urbana por el incremento de grupos vulnerables, por la migración interna o externa, mismos que por su situación de ilegalidad y falta de empleo perciben ingresos inferiores al salario básico dificultado su acceso a alimentos.

La agricultura urbana ha ido en crecimiento en el país debido al aumento de la pobreza en zonas urbanizadas, conflictos armados en países vecinos, migración y movilidad humana, catástrofes naturales, desempleo, el daño ambiental, la necesidad de mejor alimentación, fines recreativos, entre otros (Rodríguez & Proaño, 2016).

Según Beltrano, (2015) se estima que para el 2050 el 80% de la humanidad vivirá en centros urbanos, necesitando modelos sostenibles de producción, siendo este un importante tema de estudio.

La producción de alimentos es una prioridad para lograr la seguridad alimentaria en cada país, requiriendo mayor investigación y desarrollo de la agricultura sostenible, en la zona urbana y en las áreas rurales; en el área rural las extensiones de tierra logran obtener producciones elevadas para la comercialización de alimentos, sin embargo en el área urbana, en la actualidad la producción de alimentos es escasa o nula, por lo cual se ven obligados a comprar alimentos en mercados y supermercados, mismos que presentan precios altos por el traslado y otros costos adicionales que involucran su comercialización, provocando que sea difícil el acceso para las poblaciones vulnerables.

Según Clavijo, (2013), la agricultura urbana presenta varios beneficios como la generación de empleo, permite generar ahorros familiares en alimentación, posibilidad de generar microempresas, permite impulsar la inclusión económica y la elaboración de alimentos sanos, siendo una alternativa para contribuir a alcanzar la seguridad alimentaria en el área urbana.

Los cultivos hidropónicos aportan múltiples ventajas como mayor control de plagas, reduce los costos de producción, logrando conseguir más independencia ante los cambios climáticos, uso de menor espacio y capital para la producción, ahorro de agua, fertilizantes e insumos agrícolas, obteniéndose cultivos más higiénicos, y con mayor calidad del producto, además se logra tener más número de plantas por metro cuadrado, se controla mejor la nutrición vegetal, en determinados cultivos acorta el tiempo de cosecha, proporciona cultivos más sanos y de calidad, el sistema de

producción se acopla fácilmente a pequeños espacios como jardines, azoteas, patios permitiendo adquirir alimentos sanos (Beltrano, 2015).

El rápido crecimiento de las poblaciones urbanas debido a la migración interna y externa, amenaza la seguridad alimentaria, el crecimiento del desempleo en el país y el elevado precio de los alimentos en las ciudades, afecta la capacidad de la población vulnerable para adquirir alimentos, necesitando cada vez más la implementación de tecnologías que permitan dar acceso a alimentos sanos de bajo costo y fáciles de manejar, aprovechando al máximo los espacios y asegurando que estos sistemas sean amigables con el ambiente. Otro problema es el nulo o limitado espacio que tienen las viviendas de la ciudad para desarrollar actividades agrícolas, el poco desarrollo de sistemas de producción adaptados a pequeños espacios, por lo que el aprovechamiento de los sistemas agrícolas urbanos sea bajo, por esto, no se considera incorporar sistemas de producción como cultivos hidropónicos o aeropónicos.

Faltan estudios específicos que cubran los requerimientos nutricionales de los cultivos urbanos, en el presente trabajo buscamos evaluar soluciones nutritivas en un sistema de producción urbana, para establecer la mejor solución nutritiva para un sistema de producción hidropónico mixto, con el cual se obtenga más producción y determinar el costo – beneficio del sistema de producción hidropónico propuesto.

Motivo por el cual en el siguiente trabajo se evaluó soluciones nutritivas para sistemas aeropónicos en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y acelga (*Beta vulgaris var. Cicla*) para agricultura urbana, además se evaluó la viabilidad económica del sistema propuesto para la producción de cultivos de hoja, se estableció el mejor tratamiento para las dos especies hortícolas en un sistema de producción aeropónico, se identificó la solución nutritiva con la cual se obtuvo la mayor producción de hortalizas y se determinó el costo – beneficio de los tratamientos evaluados.

Capítulo II

Revisión de Literatura

Seguridad y soberanía alimentaria

La soberanía alimentaria requiere el aumento de la producción, con el fin de cubrir la demanda que pueda existir en las futuras generaciones, enfocándose el problema del acceso a los alimentos, requiriendo políticas redistributivas de ingresos, además del desarrollo de propuestas de protección social con el fin de enfrentar crisis y combatir la pobreza (Gordillo, 2013).

La soberanía alimentaria enfrenta dos obstáculos importantes: la falta de incentivación política y con bajos recursos económicos, requiriendo la descentralización de los recursos que son la principal amenaza para lograr la seguridad alimentaria, requiriendo enfocarse en derechos para el hambre y la desnutrición, la soberanía alimentaria descansa sobre 6 bases: alimentar a la sociedad, modos de vida sostenibles, ubicar los sistemas alimentarios y el control a nivel local, promover conocimientos y habilidades compatibles con la naturaleza, se considera que presenta seguridad alimentaria cuando la sociedad accede a alimentos suficientes de manera permanente, mismos que deben ser inocuos y nutritivos, con el objetivo de conseguir que la población sea activa y sana (Gordillo, 2013).

En Ecuador poseemos leyes que buscan alcanzar la soberanía alimentaria, tales como la inscrita en La Constitución de la República del Ecuador, (2010) en la cual se establece en la LORSA, en el artículo 3, que para el ejercicio de la soberanía es la obligación del estado animar el uso de alimentos sanos, nutritivos y de origen ecológico y orgánico, tratando de reducir el crecimiento del monocultivo y emplear el uso de los

cultivos agroalimentarios en la producción de biocombustibles enfocándose en el consumo de alimenticio nacional.

Agricultura urbana

Se considera que la agricultura urbana es la producción agrícola en áreas urbanas y periurbanas con fines alimenticios, se encuentra integrado en el sistema económico y ecológico urbano, se identifica por relacionar el sistema urbano, depende de factores como: tipo de actividades económicas, tipo de ubicación y arrendamiento, tipo de productos, escala de producción y tecnología utilizada, destino del producto, tipo de personas involucradas. La agricultura urbana permite reducir los costos de suministro y distribución de alimentos de las zonas urbanas, ya que permite generar una fuente de alimentos accesibles de calidad, además es un complemento importante para la agricultura rural, permite la integración social de los grupos migrantes y aporta a la relajación (Zeeuw, 2004).

La agricultura urbana aporta con la reducción de la contaminación del aire, reduciendo el impacto ambiental de las ciudades y evitando la emisión por parte del transporte, dentro de la ciudad se cultiva generalmente plantas de ciclo corto, el principal limitante de este tipo de agricultura es la disponibilidad de tierra, las hortalizas permiten tener un uso eficaz de los recursos naturales, siendo fomentado su cultivo en los países en vías de desarrollo, ya que permite acercarse a la seguridad alimentaria, genera ingresos y genera empleos, una de los beneficios de la agricultura urbana es que gracias a la cercanía reduce las pérdidas pos cosecha, especialmente evitando pérdidas en hortalizas de hoja que no resisten transportes a largas distancias, el principal objetivo de la horticultura urbana es mejorar la seguridad alimentaria y por ende la salud de la población (Orsini & Kahane, 2013).

Ante las limitaciones presentes en el área urbana se han generado varias opciones para lograr producir alimentos, entre los cuales encontramos los sistemas hidropónicos, mismos que según Orsini & Kahane, (2013) es alentado por la FAO a través de micro jardines, en el cual se considera sistemas de producción puros y mediante el uso de sustratos, la hidroponía simplificada mejora la dieta de la población, en estos sistemas emplean agua de lluvia por la baja conductividad eléctrica y por el bajo contenido de microbios y algas, el éxito de los sistemas hidropónicos depende de las soluciones nutritivas administradas, su accesibilidad y calidad.

Importancia del consumo de hortalizas para la nutrición balanceada

El consumo de hortalizas es bajo en países con bajos ingresos per capital, mismos que no cubren con la ingesta mínima recomendada por la OMS/FAO de 400 g de frutas y verduras por día, es decir 150 kg/año (Orsini & Kahane, 2013).

Ramya, (2019), menciona que el consumo diario de verduras y vegetales debe ser de al menos 400 g de acuerdo con la OMS (Organización Mundial de la Salud) con el fin de mantener una buena salud, entre los beneficios que presentan los vegetales verdes y amarillos se encuentra la reducción de la presencia del cáncer y la mortalidad, las verduras incorporadas en la alimentación diaria son asociados a la buena salud, mejor sistema gastrointestinal y la visión, además reduce la posibilidad de presentar algunas formas de cáncer, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares, anemia, úlceras, artritis reumatoide, entre otras enfermedades.

Los vegetales cuentan con 14 tipos de vitaminas, 16 minerales, carbohidratos, aminoácidos, proteínas y miles de fotoquímicos en pequeñas cantidades, los cuales son compuestos orgánicos que tiene un efecto protector en la salud, así como previenen la regresión de enfermedades, existen fotoquímicos con efecto biológico contra enfermedades crónicas, siendo bajos en grasas y sin colesterol, el contenido de fibra

ayuda para mejorar el tránsito intestinal, aporta controlando la glucosa y en transporte intestinal, en ciertos casos tiene efecto antioxidante, los fitonutritivos vegetales más importantes que tiene actividad contra enfermedades son: vitaminas, minerales, fibra dietética, antioxidantes, carotenoides y flavonoides (Ramya, 2019).

Historia de la hidroponía

Proviene de la palabra griega “hidro”, agua y “ponos” trabajo, fue empleada por primera vez por el profesor californiano Dr. Gericke, en 1929, fue usado por el ejército de EE.UU. en la segunda guerra mundial, para alimentar a las tropas en zonas desérticas, desde 1950 se extendió a granjas comerciales en América, Europa, África y Asia (Shrestha & Dunn, 2013).

La hidroponía

Es una técnica de cultivo en el cual no se emplea tierra, usando únicamente agua, en este tipo de producción la asepsia es fundamental, puede llevarse a cabo en patios, techos, balcones y azoteas, requieren ser completamente limpios, reduce los costos de producción gracias a que emplea tan solo el 10% de agua frente al cultivo con tierra, se estima que en un metro cuadrado de tierra se produce +- 12 lechugas, en cambio en un sistema hidropónico se llega a producir hasta 31 lechugas, el impacto ambiental es menor, se obtiene alimentos más limpios, la cosecha se puede realizar todo el año, emplea menos mano de obra, se adapta a varios climas y tiene mayor acogida en el mercado (Mendoza, 2009).

Según Eek Son, Jin Kim, & In Ahn, (2016), la hidroponía se refiere al cultivo de plantas usando soluciones nutritivas sin tierra, en cultivos de hoja se usa el sistema DFT, en el cual se suministra la solución al bajar el nivel de agua al mínimo programado, y el sistema NFT, ambos sistemas recirculan la solución nutritiva en periodos establecidos, rociando directamente a la raíz de la planta.

En hidroponía la contaminación por patógenos en cultivos es menor que la presentada en el suelo, en caso de existir este problema, puede expandirse velozmente a las plantas vecinas por medio de la solución nutritiva, basta con una planta enferma, puede infectar toda la plantación, requiriendo que se emplee medios de desinfección, tales como filtros, calor, ozono y la radiación ultravioleta, los sistemas de filtrado permiten eliminar patógenos y sólidos, según el tamaño de los poros, en el caso del ozono, oxida los patógenos, si se usa agua caliente, esta esterilizará la zona por calor del agua, sin embargo requiere ser enfriada antes de usar (Eek Son, Jin Kim, & In Ahn, 2016).

Sistemas hidropónicos abiertos y cerrados

Las soluciones nutritivas para hidroponía poseen al menos 13 elementos esenciales, cada uno con proporciones adecuadas para el crecimiento de la planta, en diferentes concentraciones, adaptadas para el tipo y fase del cultivo en producción, con el paso del tiempo estas soluciones varían su concentración provocando el desequilibrio de los nutrientes en sistemas cerrados, por lo que requiere ser medido frecuentemente, siendo costosa su implementación en sistemas cerrados, en cambio en sistemas abiertos al ser simples permiten mayor control y producción, requiriendo conocer el manejo de soluciones madre, controlando la CE (Eek Son, Jin Kim, & In Ahn, 2016).

Es crucial el equilibrio de la solución nutritiva, ya que el desequilibrio desemboca en la afección del entorno radicular, en sistemas cerrados es común que se dé la acumulación de solutos, por lo que se requiere de un circuito de control que analice los iones para difusión de fertilizantes líquidos, además de un algoritmo que determine los periodos de recirculación (Eek Son, Jin Kim, & In Ahn, 2016).

Ventajas

Se puede usar en lugares donde no es posible sembrar en tierra, tiene un mejor control de nutrientes, pH y crecimiento, menos uso de agua, reciclaje de nutrientes, crecimiento más rápido, eliminación o reducción de plagas y enfermedades, altos rendimientos, no requiere control de malezas, disminuye el estrés del trasplante (Shrestha & Dunn, 2013).

Desventajas

Costos iniciales, requiere conocimiento previo, enfermedades pueden propagarse rápido (Shrestha & Dunn, 2013).

Sistema hidropónico líquido

Son sistemas cerrados.

Técnica de película de nutrientes (NFT)

Se coloca las plantas en un tubo de polietileno adaptado con hoyos, mediante el cual se moviliza la solución nutritiva (Shrestha & Dunn, 2013).

Hidroponía flotante

Las plantas crecen en una balsa de plástico expedito (Shrestha & Dunn, 2013).

Aeroponía

Recientemente, ha existido un mayor interés hacia la producción de plantas en instalaciones cerradas como granjas verticales y módulos de cultivo en interiores (Tunio, y otros, 2021).

Las técnicas agrícolas innovadoras son aconsejables emplearlas en sistemas de cultivo sin suelo, que sean independientes de las condiciones climáticas, la fertilidad del suelo, las enfermedades transmitidas por el suelo, además no requieren grandes

extensiones de terreno ni mano de obra intensiva. Estas técnicas de cultivo utilizan todos los recursos disponibles de manera eficiente y así se incrementa el rendimiento del cultivo en comparación con la agricultura tradicional (Tunio, y otros, 2021).

El sistema aeropónico puede definirse como un ecosistema cerrado de aire, agua y nutrientes, los cuales promueven un rápido crecimiento de las plantas. Este método puede ahorrar hasta el 95% del agua empleada en las prácticas agrícolas convencionales y requiere un espacio mínimo. Ha sido una técnica aplicada con éxito para cultivar hortalizas de hoja, tubérculos y plantas medicinales, debido a que la calidad y propiedades nutricionales, como el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, antioxidantes y vitaminas, fueron mayores en plantas cultivadas en aeroponía que en otras plantas sin suelo y plantas cultivadas en el suelo (Tunio, y otros, 2021).

La aeroponía es un tipo de hidroponía, en el cual las raíces crecen en obscuridad y se mantiene la mayor parte del tiempo en el aire, en el interior del cilindro la turbera distribuye la solución nutritiva a través de pulverizaciones a medio o baja presión, dando adecuada aireación, presenta desventajas como el costo elevado de instalación, obstrucción de boquillas de pulverización (Soria, 2012).

Las raíces permanecen suspendidas en un cubículo, siendo rociados por solución nutritiva en perdidos programados, en lapsos de pocos minutos (Shrestha & Dunn, 2013).

Este tipo de hidroponía cuenta con un sistema de flujo y reflujo, funcionando por periodos de tiempo, en el cual el tanque de soluciones posee una bomba sumergida conectada a un temporizador programado cada cierto tiempo, el cual tras rociar la solución, se recolecta nuevamente para ser reciclada, siendo de más tecnología, el

bombeo se realiza durante unos segundos cada dos minutos, en este tipo de sistema es apropiado que el pH se encuentre entre 5,0 y 6,0 siendo ligeramente ácido, mientras que el CE debe mantenerse entre 1,5 a 3 dSm (Shrestha & Dunn, 2013).

El agua del tanque se repone automáticamente, manteniendo el nivel del tanque estable, llenándose automáticamente al bajar el caudal, mientras la CE baja progresivamente hasta renovar la solución del tanque, el pH, se nivela mediante la aplicación de sustancias correctivas, en caso de no poder contar con un sistema automatizado, se puede optar por tener el tanque parcial o completamente desprovisto, agregando la solución, requiere de la comprobación de los efectos de la adición (Shrestha & Dunn, 2013).

El principio de los sistemas aeropónicos es cultivar plantas en un ambiente cerrado o semicerrado rociando las raíces suspendidas en el aire con una solución nutritiva (Minjuan, Chen, & Wanlin, 2019).

El sistema aeropónico implica el uso de rociadores, microaspersores o nebulizadores para crear una nube de niebla de la solución con nutrientes, en el sistema no se utiliza tierra ni medios de cultivo en todo el ciclo de vida de las plantas. Con este principio de riego innovador existe una reducción del uso de agua, la densidad de plantas es mayor comparada a un sistema de cultivo tradicional, se reducen las enfermedades transmitidas por raíces, y se pueden lograr rendimientos altos con una adecuada fertirrigación (Minjuan, Chen, & Wanlin, 2019).

Varios estudios han demostrado que la aeroponía promueve las tasas de crecimiento de las plantas a través de la optimización de la aireación de las raíces, debido a que la planta está totalmente suspendida en el aire, lo cual le da al sistema de raíces acceso al 100% del oxígeno disponible en el aire (Jones, 2014).

Tamaño de la gota y boquillas en aeroponía

Usualmente, se utilizan tres categorías amplias para clasificar los sistemas de formación y tamaño de gotas: boquillas de aspersion regulares $> 100 \mu\text{m}$, boquillas entre 1 a $100 \mu\text{m}$ que forman una niebla y boquillas de 1 a $35 \mu\text{m}$ que también forman una niebla (Weathers, Liu, Towler, & Wyslouzil, 2008).

En aeroponía, el tamaño de la gota ideal es de 30 a 100 micrones para la mayoría de las especies de plantas, en este rango, las gotas más pequeñas saturan el aire, manteniendo niveles de humedad muy altos e ideales dentro del sistema. Las gotas menores de $30 \mu\text{m}$ tienden a permanecer en el aire como un tipo de niebla, y no logran un crecimiento continuo de las plantas, mientras que las gotas superiores a $100 \mu\text{m}$ tienden a caer del aire antes de contenerlas en la raíz de las plantas, y una gota muy grande ocasiona que haya menos oxígeno dentro del sistema (Kumar, 2019).

Retos de los sistemas aeropónicos

El tamaño de la gota y la frecuencia de exposición de las raíces a la solución nutritiva, son los factores críticos que pueden afectar la disponibilidad de oxígeno (Jones, 2014).

Uno de los más grandes retos es el tamaño de las gotas, ya que si son muy grandes se reduce el oxígeno para las raíces y en caso de que las gotas sean muy finas producen que la raíz lateral se atrofie al producir un exceso de vello radicular sin desarrollar un sistema radicular latera de forma sostenida, este tipo de sistemas necesita estar provista de energía todo el tiempo, ya que en caso de un apagón el daño es irreversible, otro gran reto es el alto costo de mantenimiento y la necesidad de conocimiento y material productivo de calidad, a pesar de esto, tiene enormes beneficios como la rápida producción, mejor tasa de crecimiento y supervivencia de

plántulas, mayor circulación de aire, amigable con el ambiente, incrementando los ingresos en menor tiempo (Chiipanthenga, Maliro, Demo, & Njoloma, 2011).

La elección de un método apropiado de nebulización de la solución nutritiva es indispensable para el correcto desarrollo de las plantas, ya que la frecuencia, el tiempo de aspersión y el intervalo podrían afectar las propiedades físico químicas y la calidad de la solución nutritiva. La CE y el pH son los parámetros más importantes en la solución nutritiva, los estudios previos han demostrado que el tamaño de la gota puede cambiar estos valores después de la aplicación, obteniendo como resultado la reducción en el rendimiento de biomasa (Lakhiar, y otros, 2019).

Soluciones nutritivas

Es la concentración de nutrientes en agua en una dosis apropiada, con el fin de que las plantas absorban los nutrientes mediante el riego y a través de las raíces, provocando el crecimiento de las plantas, para realizarlas se emplea diferentes insumos al alcance, desarrollando soluciones únicas (Mendoza, 2009).

Para el cálculo de la solución nutritiva, se requiere de un análisis de agua de riego a usar, con el fin de determinar las concentraciones de iones, con el cual se determinará la cantidad de nutrientes a colocar para complementar y ajustar de manera equilibrada la solución a administrar al cultivo, la solución nutritiva dependerá del cultivo y estado fenológico (Baixauli & Aguilar, 2002).

Para que un cultivo se desarrolle apropiadamente requiere una gran variedad de elementos esenciales, en la hidroponía se considera 16 elementos como esenciales para el desarrollo de las plantas en los cuales se encuentran macronutrientes y micronutrientes, para determinar que un elemento es esencial se debe cumplir tres valores críticos (Soria, 2012):

- En caso de no estar presente el elemento la planta no llega a cumplir su ciclo de vida (Soria, 2012).
- Su función es específica no puede ser sustituido por otro elemento (Soria, 2012).
- Los elementos deben estar involucrados en la nutrición, desarrollo y funciones metabólicas de la planta (Soria, 2012).

Se considera que los macronutrientes son: Carbono, hidrógeno y oxígeno propios del aire y agua, también se encuentra el nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio; los micronutrientes son: Boro, cloro, cobre, hierro, magnesio, molibdeno y zinc (Soria, 2012).

Se considera como macronutrientes indispensables al N – P – K; mesonutrientes mismos que son indispensables en cantidades intermedias son el S – Ca – Mg, micronutrientes indispensables en pequeñas cantidades el Fe – Cu – Zn – B – Mo (Resh, 2001).

Características de la Solución Nutritiva

PH

Indica la característica del agua ya sea ácida o básica, influyendo en la solubilidad de los iones, agua con pH superior a 7 afecta la solubilidad de las sustancias, en cultivos hidropónicos se trabaja soluciones nutritivas con pH entre 5 a 7, el pH mantiene los iones en condiciones solubles para la nutrición de las plantas, en un rango de entre 5,5 a 6,5 la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles, contrario a cuando está por encima de 6,5 donde afecta la disponibilidad del fósforo y del calcio, en el caso de que el pH se encuentre inferior a 5 afecta el sistema radicular de la planta por ende su capacidad de absorción (Baixauli & Aguilar, 2002).

Presión osmótica

Es la cantidad de iones de sales disueltas, a mayor cantidad de iones mayor presión, es una propiedad físico – química de las soluciones, dependiendo del número de partículas disueltas, a mayor PO las plantas requieren invertir más energía para la absorción de nutrientes, esto depende de la especie vegetal, en el caso de las lechugas requiere menor PO, otro factor que influye es la época del año, en invierno el desarrollo es mayor con alta PO que en verano, una manera para indicar la PO es la conductividad eléctrica, mismo que indica la concentración de sales disueltas (Chávez, Preciado, & Benavides, 2006).

Conductividad eléctrica

Mide la concentración de sales disueltas en el agua, expresándolo en mS/cm, siendo multiplicado por el factor de corrección de 0,7 o 0,9 según la calidad del agua, dado a conocer la cantidad de sales disueltas en g/l, indicando la capacidad de conducción de corriente eléctrica, fundamental para prevenir la fitotoxicidad, el agua se considera apropiada con un valor de CE inferior a 0,75 mS/cm, aceptable con valores de 0,75 a 2 mS/cm, poco aceptable con 2 – 3 mS/cm e inadecuada con niveles superiores a 3 mS/cm (Baixauli & Aguilar, 2002).

Según Chávez, Preciado, & Benavides, (2006) el aumento de CE al adicionar nutrientes en una solución nutritiva, reduce la extracción de agua en raíces, desencadenando el aumento de azúcares en frutos, el alto contenido de sales incrementa la osmosis y reduce la disponibilidad de agua, afectado a los frutos.

Temperatura de la solución nutritiva

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes, requiriéndose una temperatura aproximada de 22 °C en la solución nutritiva, para alcanzar un desarrollo

adecuada, mientras menor sea la temperatura reduce la capacidad de absorción y asimilación de los nutrientes, afectando principalmente al fósforo y al nitrógeno, con una temperatura menor a 15 °C afecta al calcio, fósforo y hierro, debe mantenerse la solución nutritiva protegido de los rayos solares con el fin de evitar alteraciones químicas (Chávez, Preciado, & Benavides, 2006).

Contenido de oxígeno

La concentración de oxígeno en la solución nutritiva cambia según la necesidad del cultivo, esta se puede ver afectada según la temperatura de la solución a temperaturas mayores a 22 °C disminuye la concentración de oxígeno y viceversa a menor temperatura mantiene un adecuado contenido de oxígeno, sin embargo la planta se ve afectada y reduce su requerimiento por la disminución de procesos fisiológicos (Chávez, Preciado, & Benavides, 2006).

A mayor número de plantas o de actividad fotosintética mayor demanda de oxígeno, al existir baja concentración de oxígeno afecta la absorción de nutrientes a excepción del nitrógeno, presentado los primeros síntomas en la raíz misma que adquiere un color pardo, requiriendo la oxigenación a través de sistemas de recirculación, mismo que es recomendable inyectar en varios puntos en la solución nutritiva con el fin de homogeneizar la concentración (Chávez, Preciado, & Benavides, 2006).

Preparación de soluciones nutritivas

La solución nutritiva depende de la especie y esta del desarrollo de la planta, así como la parte a cosechar, la relación entre los cationes de K Ca:Mg es de 50::30:20 y para los aniones de NO₃ H₂PO₄: SO₄ = 50:7:43 con una concentración de iones de 20 iones mg por litro y pH de 6,0 +- 0,1, en cuanto a la concentración de K, Ca y Mg debe

tener una proporción de 30 – 40 – 50 y 15 – 25% respectivamente (Chávez, Preciado, & Benavides, 2006).

Lechuga

Es una hortaliza perteneciente a la familia Asterácea, producida principalmente en áreas templadas y subtropicales, aun origen se dio probablemente en Asia menor y cuenca de mediterráneo, es una planta anual auto gama, con raíz pivotante, pudiendo alcanzar más 60 cm de profundidad, la mayor cantidad de raíces se encuentra en la superficie (Saavedra, 2017).

Se desarrollan óptimamente en temperaturas de entre 15 y 18 °C, la mínima sitúa en 12 °C, temperaturas inferiores detienen el crecimiento vegetal, la máxima se sitúa en 18 a 24 °C, mayor temperatura afecta la lechuga desarrollando cabezas sueltas, estas temperaturas varían según la variedad, la temperatura nocturna que tolera va entre 10 a 15 °C (Saavedra, 2017).

Es un aquenio, la germinación se da en temperaturas de entre 18 a 21 °C, germina en 7 días, el crecimiento de la planta se encuentra dividido en plántula, roseta, encabezamiento, reproductivo, en cultivo hidropónico las raíces no requieren explorar y expandirse por lo cual producen raíces homorrizadas que cubre un alto volumen con el fin de absorber nutrientes (Saavedra, 2017).

Según Resh, (2001) las lechugas en sistema hidropónico deben ser cultivada a una distancia de 20 x 20 cm, necesitan una temperatura de 21 a 24 °C, se cosecha a los 60 días desde la siembra.

Variedad Lactuca sativa L. var. acephala Dill

Es una de las subespecies de la lechuga que posee hojas sueltas y dispersas, son comunes en huertas caseras, gracias a que pueden ser cosechadas de manera individual y progresiva, forman rosetas planas, sus bordes suelen ser variados y es muy empleada en la hidroponía (Saavedra, 2017).

Posee un rendimiento de 10 ton/ha, en suelo, en hidroponía es de 14 ton/ha, en cuanto a su ciclo tarda 86 días aproximadamente (30 en semillero y 56 desde el trasplante hasta la cosecha), en hidroponía se cosecha a los 45 a 60 días, la densidad de siembra por ha es de 156 000 pt/ha, mismas que en 1200 m², pueden ser cultivados en sistemas hidropónicos (Lema, 2017).

Requerimientos nutricionales

Tabla 1.

Requerimientos nutricionales de la lechuga.

Cultivo	Nombre Científico	Órgano Cosechable	Absorción total (kg/ton)						Fuente
			N	P	K	Ca	Mg	S	
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> <i>L.</i>	Hojas	2	5	4,3	0,9	0,2	-	1 y 8

Nota. Recuperado de (Ciampiti & Garcíá, 2012).

Solución Nutritiva

Tabla 2.

Solución nutritiva

Elemento	Hidroponía kg/m ³
N	36
P	12
K	54,4
Ca	70,2

Mg	4,62
S	6
Cu	0,18
Fe	0,24
Mn	0,18
Zn	0,18
B	0,18

Nota. Solución nutritiva apropiada para lechugas en hidroponía. Recuperado de (Lema, 2017).

Comportamiento fisiológico de la lechuga en sistemas hidropónicos

Según Avendaño & Cortés, (2020) en su estudio sobre la evaluación del crecimiento de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa var.Crispa*) en sustrato con aprovechamiento de residuos plásticos PET en el municipio de Villavicencio, Meta, donde se empleó como factores de estudio cuatro tratamientos el control (TC), sin sustrato y el tratamiento con gravilla y PET al 30%, 70% y 100%, se determinó que en sistemas hidropónicos con sustrato inerte de arena de la altura de la planta fue de 15,24 cm, mientras la masa fue de 150 g, en cuanto al rendimiento este fue de 10,97 – 23,67 kg/ha, en cuanto al hidroponía con sustrato de ladrillo fue de 18,46 cm, con una masa de 515 g y una producción de 21,20 kg/ha, en esta misma investigación se determinó que al cabo de un mes, la longitud del tallo en el tratamiento control (TC) que fue sin sustrato fue de entre 22,5 cm a 41 cm, en cuanto a la longitud de raíz obtuvo un promedio de 29,5 cm de largo, en cuanto al número de hojas se obtuvo un promedio de 13,2 por planta, con un mínimo de 10 hojas y un máximo de 18 hojas en cuanto al largo de las hojas se estimó en 21,43 cm de largo, ya en la etapa final al cabo de 61 días el peso promedio fue de 41,75 g/planta, con un rendimiento productivo de 0,878 kg/m².

Acelga (*Beta vulgaris* L.)

Es una hortaliza que pertenece a la familia quenopodiáceas, posee un sistema radicular profundo y hojas grandes ovalados y acorazonados, se desarrolla en clima templado, la temperatura óptima para su crecimiento es de 15 – 25 °C, dejando de crecer en temperaturas inferiores a 6 °C y superiores a 30 °C, su requerimiento de luz es poco, tiene un desarrollo apropiado en pH de entre 5,5 – 8, no tolera un pH ácido, se siembran hasta 15 plantas por m², en zonas templadas llega a la madurez entre los 55 y 65 días, este alimento se consume generalmente cocido, con un contenido alto en vitaminas y minerales, aporta yodo, hierro y magnesio y un poco de potasio y calcio, también posee folatos, vitamina A, vitamina C, niacina y luteína (Marbueda & García, 2017).

Solución Nutritiva para acelga

Tabla 3.

Solución nutritiva recomendado para el cultivo de acelga hidropónica.

Cultivo	Nombre Científico	Órgano Cosecharle	Ppm correspondiente al 100% de la solución					
			N	P	K	Ca	Mg	S
Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	Hojas	200	210	35	-	-	-

Nota. Recuperado de (Villacrés, 2019)

Comportamiento fisiológico de la acelga en sistemas hidropónicos

Según Ube, (2014), en el estudio de comportamiento agronómico de dos variedades de acelga, sembradas mediante sistema hidropónico de raíz flotante, en la zona de Babahoyo, donde se realizó la toma de datos a los 30 y 60 días, en la variable de altura se determinó que la variedad Bali tuvo 8,65 cm de altura los 30 días, y a los 60 días presentó entre 32,62 cm a 35,50 cm en cuanto a la variedad Fordhook Giant la

altura de la planta tuvo 6,25 cm a 6,55 cm, a los 30 días, en cambio a los 60 días tuvo entre 49,63 cm a 48,5 cm; en cuanto a la variable número de hojas a los 30 días se determinó que el tratamiento Bali acelga presento 9,65 hojas, mientras que el Fordhook Giant tuvo 6,25 hojas, a los 60 días presento 14,1 y 10,8 hojas respectivamente, en cuanto a la longitud de raíz en 30 días se identificó que el Fordhook Gian tuvo 4,5 cm de longitud mientras que la variedad de acelga Balo tuvo 8,4 cm de longitud de raíz, a los 60 días este valor fue de 43,7 cm y 21,3 cm de longitud de raíz respectivamente, finalmente se evaluó la cosecha al cabo de los 60 días obteniendo en la variedad Bali un valor de entre 0,10 kg/m² a 0,12 kg/m², en cuento a la variedad Fordhook Giant el rango fue de entre 0,20 a 0,25 kg/m².

Capítulo III

Materiales y Métodos

Ubicación del lugar de investigación

Ubicación política

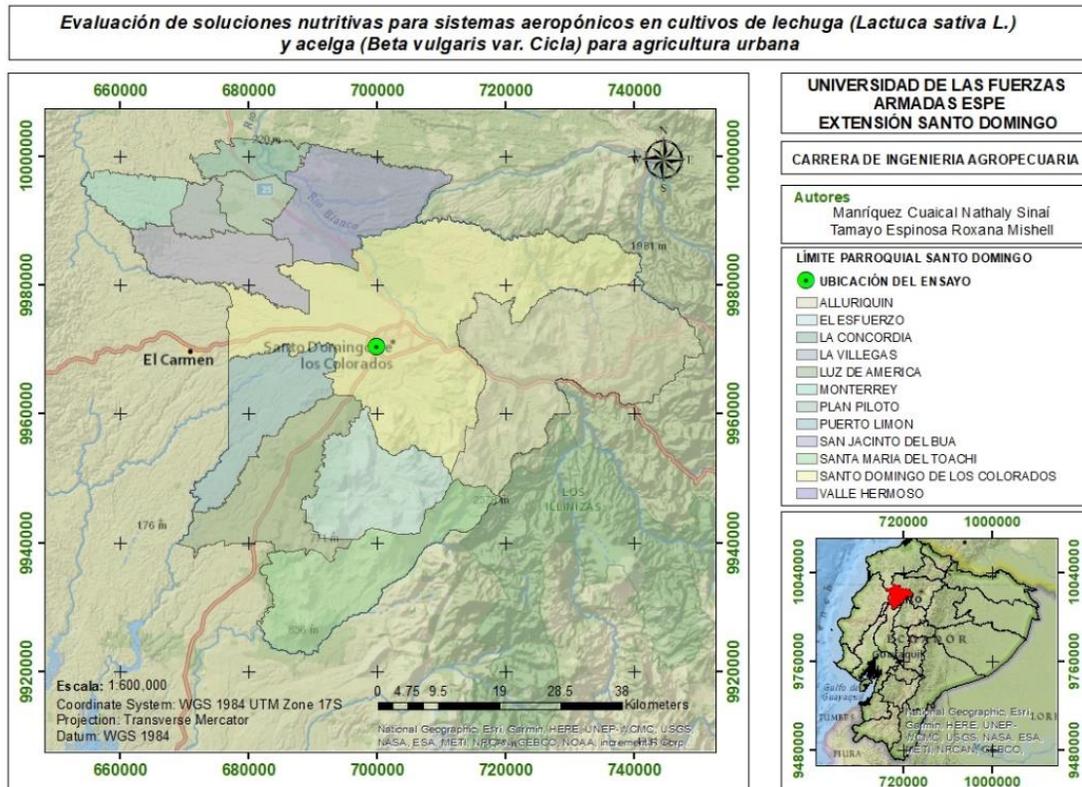
Provincia : Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón : Santo Domingo

Parroquia : Santo Domingo

Ubicación geográfica

Figura 1 Ubicación geográfica de la investigación.



Coordenadas UTM : 700123,5 mE

9970563,4 mN

Ubicación ecológica

Zona de vida : De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982), la zona es parte del bosque húmedo tropical (bh – T).

Altitud : 625 msnm

Temperatura : 25°C

Precipitación : 3150

Humedad relativa : 89%

Materiales

Tabla 4.

Materiales empleados para la fabricación del sistema y la producción.

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none">• Estructura en galvanizado (tubo 3/4)• Correas plásticas• Tela tul• Insumos de plomería varios• Espuma poliuretano• Pieza DE inicial de goma PE• Pintura de latex color terracota• Grapadora metálica• Plantas de acelga• Plantas de lechuga• Plástico negro y transparente• Espuma de sofá• Espuma flex de 3 cm de diámetro• Cinta de invernadero	<ul style="list-style-type: none">• Temporizador• Contactor 2 polos• Bomba de agua ½ HP• Microaspersores• Balanza gramera• Computadora

-
- Manguera de agua
 - Tachos de 200 L partidos a la mitad
 - Caja de paso
 - Cable concéntrico
-

Insumos

- Fertilizantes
- Peróxido de hidrógeno
- Labicuper

Métodos

Diseño experimental

Factores a probar

Los factores evaluados fueron dos, el Factor A referente a dosis de soluciones nutritivas, en dos especies diferentes lechuga y acelga siendo este último el Factor B de evaluación, ambos en un mismo sistema aeropónico de producción urbana.

Tabla 5.

Factores de evaluación.

Factor	Niveles	Código
S	100%	s1
Soluciones nutritivas	90%	s2
	80%	s3
	E	Acelga
Especie	Lechuga	e2

Niveles de nutrientes a evaluar.

Tabla 6.

Descripción de los elementos de cada nivel del factor A.

Soluciones		N	P	K	Ca	Mg
Nutritivas						
s1	100%	197,8 g	123 g	110 g	0,9 g	5,12 g
s2	90%	184,5 g	111,5 g	99 g	0,9 g	5,12 g
s3	80%	171 g	99,07 g	88 g	0,9 g	5,12 g

Tabla 7.

Tratamientos a comparar.

Tratamiento	Código	Descripción
T1	s1e1	Solución 100% con la especie lechuga
T2	s1e2	Solución 100% con la especie acelga
T3	s2e1	Solución 90% con la especie lechuga
T4	s2e1	Solución al 90% con la especie acelga
T5	s3e1	Solución al 80% con la especie lechuga
T6	s3e1	Solución al 80% con la especie acelga

Tipo de diseño.

Se utilizó un esquema bifactorial 3x2 (3 soluciones nutritivas, 2 especies), conducido en un Diseño Completamente al azar.

El modelo empleado fue el siguiente:

$$Y = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y = Observación de la variable del Tratamiento A, nivel B y repetición

μ = Media general

A = Soluciones nutritivas

B = Especie

AB = Efecto interacción Soluciones y especie

ε =Error aleatorio

Observaciones

La investigación contó con seis tratamientos con cuatro observaciones por tratamiento

Características de las UE

Número de unidades experimentales	:	12
Área de la unidad experimental	:	1m ³
Largo	:	1 m ³
Ancho	:	1 m
Forma de la UE	:	Cubo
Área total del ensayo	:	49 m ²
Forma del ensayo	:	Cuadrado
Población total	:	768 pt

Análisis estadístico

La investigación contó con seis tratamientos de estudio (soluciones nutritivas y en dos especies), cada uno con cuatro observaciones.

Esquema del análisis de variables

Tabla 8.

Análisis de varianza.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Soluciones Nutritivas	2
100% vs RESTO	1
90% vs 80%	1
Especies	1
Soluciones*Especies	2
Error Experimental	18
Total	23

Coeficiente de variación

Para determinar este valor se usó la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CM_e}}{X} * 100 =$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación

CMEE = Cuadrado medio del error experimental

X = Promedio del tratamiento

Análisis funcional

El análisis se lo realizó mediante la aplicación de la prueba de significancia de Tukey al 5%.

Análisis económico

Para el análisis económico se utilizó el dato de la vida útil del sistema y la capacidad productiva, estableciendo su viabilidad, aplicando finalmente un análisis de costo – beneficio, usando la siguiente fórmula:

$$C/B = \text{Ingreso total neto} / \text{Costo Total}$$

Variables a medir

Se evaluaron las siguientes variables, longitud de planta, longitud de raíz, peso de la planta, número de hojas, rendimiento y el análisis costo/beneficio.

Número de hojas.

Se contó una a una las hojas de las plantas muestra previamente señaladas para su observación durante toda la investigación.

Rendimiento productivo (kg).

Tras la cosecha se pesó en fresco la producción en kilogramos, obteniendo el valor de producción por tratamiento.

Longitud de la raíz (cm).

Al final del ciclo, el día de la cosecha se midió la longitud de la raíz de las plantas muestras de cada observación, estableciendo si los tratamientos influyeron en el desarrollo de la raíz.

Peso de la planta (g).

Se pesó en una balanza gramera cada planta muestra de ambas especies, por tratamiento.

Longitud de la planta (cm).

Se midió la altura de las plantas muestra, obteniendo un promedio de altura planta por tratamiento.

Contenido de proteína y fibra.

Mismo que se midió al obtener una muestra seca representativa de 2 g de cada tratamiento y especie vegetal, se determinó el contenido la fibra por el método de Weende, para el análisis de proteína se obtuvo una muestra de 0,3 g de muestra de cada tratamiento y especie y se procedió a determinar el contenido de proteína con el método de Kjeldahl.

Relación costo beneficio.

Al final del ciclo, el día de la cosecha se determinó la producción y el ingreso resultante del mismo, junto con la vida útil del sistema y la capacidad productiva, se determinó el beneficio que otorga el sistema.

Métodos

La investigación se llevó a cabo de la siguiente manera:

Establecimiento de la estructura.

Se procedió a delimitar el área en la terraza donde se ubicó la investigación, señalando las observaciones y muestras, tras lo cual se realizó la instalación de la estructura de los sistemas aeropónicos, ajustando las paredes, acoplando el sistema de riego y recolección, además de los sistemas eléctricos, asegurando la estructura, tras lo cual se encendió el sistema realizando pruebas y regulando el equipo.

Trasplante y aplicación de solución nutritiva.

Una vez regulado el equipo y ya en función, el 7 de julio de 2021, se trasplantó las especies vegetales mismas que tuvieron alrededor de 7 cm de altura aproximadamente con 3 a 5 hojas verdaderas, instalando dentro de las esponjas hidropónicas en cada orificio designado, luego se colocó la solución nutritiva específica para cada tratamiento, misma que recirculó cada hora mediante un timer, durante 16 ciclos, el tiempo de encendido se fue graduando a lo largo del desarrollando de la planta, según sus necesidades.

Fertilización.

Tabla 9.

Fuentes empleadas para la composición de la solución nutritiva.

Fuentes	Composición química (%)
Yaramila Kristalon	13 – 40 -13
Sulfato de potasio	50 K ₂ O – 18 S
Nitrato de calcio	15 N – 26 Ca
Fortaleza Multi	Fe – Mn – Cu – Zn – B – Mo
Yara vita Magtrac	30 Mg
Cloruro de potasio	60% K – 45 Cl

Selección de muestra.

Se tomó al azar el 20% de plantas de cada especie en cada sistema marcándolo en la pared base de espuma flex, con un número al azar dentro del rango, mismo que fue fundamental para realizar el seguimiento del crecimiento de las especies.

Nutrición.

Diariamente se renovó la solución nutritiva, distribuido en tres tanques, misma que se fue ajustando según lo planeado de acuerdo a la edad de la plantación hasta ser

cosechada, de la semana 1 a la 2 se llenó una vez al día el tanque y de la semana 3 a la 6 dos veces, aumentando en las dos últimas semanas el tiempo de riego a 29 minutos en 16 tiempos.

Mantenimiento.

Una vez a la semana se procedió con el lavado de los tanques de soluciones, además de la limpieza y reparación de imperfectos en el sistema.

Incidencia y control de plagas.

Semanalmente se monitoreo, registró y controló la presencia de plagas y enfermedades, en el caso de las acelgas se detectó oportunamente la presencia del hongo *Cercospora sp*, para lo cual se controló empleando como fungicida peróxido de hidrógeno al 50%, en dosis de 5 cc/L y una aplicación de Labicuper 1 cc/L.

Cosecha.

Tras 44 días, de la siembra se procedió a la cosecha de las especies pesando por separado cada tratamiento, determinado finalmente la eficiencia de las soluciones, mismo que se reflejó en la producción.

Evaluaciones de la producción.

Se realizó cada una de las evaluaciones previstas con muestras representativas de cada tratamiento.

Evaluación costo – beneficio.

Una vez establecido el ingreso resultante de la cosecha de cada tratamiento, se determinó en base a la vida útil, capacidad productiva y calidad de la misma la relación costo – beneficio.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Número de hojas

Tabla 10.

Análisis de varianza de la variable número de hojas, evaluando tres concentraciones de soluciones nutritivas en dos especies diferentes, lechuga y acelga.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Solución Nutritiva	31,3	2	15,65	11,46	0,0006 **
100% vs RESTO	16,9	1	16,9	12,37	0,0025 **
90% vs 80%	14,4	1	14,4	10,55	0,0045 **
Especie	1241,28	1	1241,28	908,93	<0,0001 **
Solución N.*Especie	14,35	2	7,18	5,25	0,0159 *
Error	24,58	18	1,37		
Total	1311,52	23			
CV	9,03				

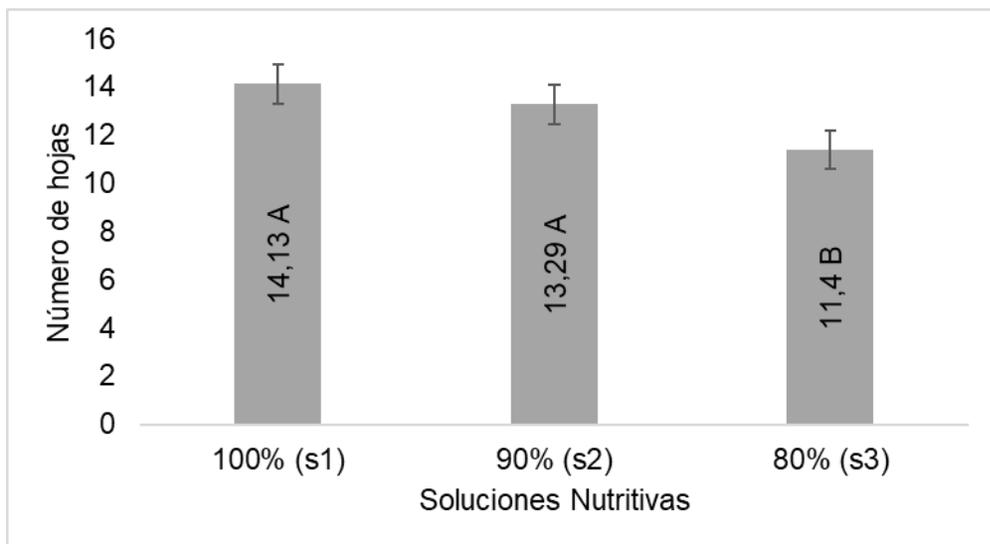
En la tabla 10, se puede observar que en cuanto a la variable número de hojas, el análisis de la Solución Nutritiva tuvo una diferencia altamente significativa, reflejando un p-valor de 0,0006, lo cual indica que las soluciones si tuvieron diferentes efectos en la plantación, en cuanto a la interacción de Dosis*Especie, si hubo diferencia significativa, con un p-valor de 0,0159, en cuanto al análisis de la respuesta entre especies, el p-valor indica una alta significancia con <0,0001, indicando que si existe diferencias importantes entre la lechuga y la acelga, en cuanto a la comparación del tratamiento al 100% vs RESTO, se pudo observar que si existió diferencias significativas con un p-valor de 0,0025; en cambio en la comparación de 90% vs 80%,

se obtuvo que si hubo diferencia significativa con un p-valor 0,0045, lo cual indica que si existe diferencias entre especies.

El coeficiente de variación presenta el 9,03%, indicando ser confiable al ajustarse dentro del rango preestablecido del tipo de investigación realizado.

Figura 2.

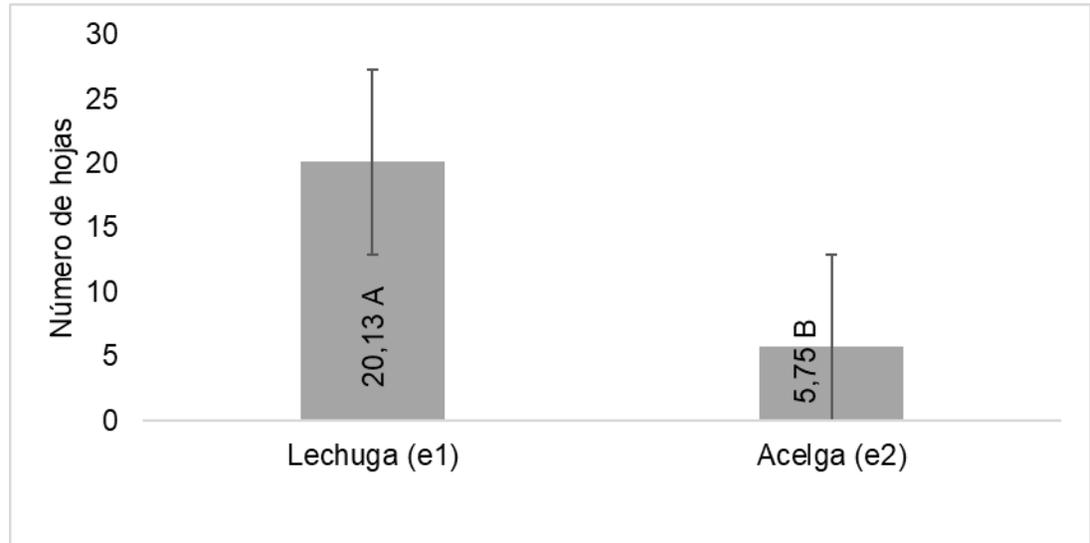
Prueba de Tukey sobre la variable, número de hojas según el factor soluciones nutritivas.



En la figura 2, la prueba de Tukey para la variable de número de hojas, indica que el mejor resultado fue la solución nutritiva al 100% (s1), dando un promedio de 14,13 hojas al cabo de 44 días, destacándose como el mejor tratamiento en esta variable, le sigue con una mínima diferencia la solución al 90% (s2) con 13,29 hojas en promedio y en contraparte a la mejor solución (s1), tenemos a la solución nutritiva del 80% (s3) el cual presentó 11,4 hojas.

Figura 3.

Prueba de Tukey al 5% enfocado en el factor especies, de la variable de número de hojas.



En la figura 3, indica que, al cabo de 44 días, el cultivo de lechuga (e1) es la especie que mayor número de hojas presentó, con un promedio de 20,13 hojas, frente a la Acelga (e2) que conserva alrededor de 5,75 hojas, indicando una mejor adaptación y respuesta en el cultivo de lechuga.

Según (Avendaño & Cortés, 2020), en su estudio sobre sustratos en sistemas hidropónicos en lechuga, en su tratamiento control, hidroponía sin sustrato, obtuvo al cabo de 30 días 13,4 hojas por planta con un mínimo de 10 y un máximo de 18, contrastando con los datos obtenidos en la investigación presente, ya que los tres tratamientos de la especie lechuga a la edad de 30 días, tuvo un mínimo de 8 hojas y un máximo de 15 hojas, especialmente el tratamiento al 100% (s1e1) el cual entro en el rango de 10 hojas a 15 hojas, manteniéndose alrededor de los valores indicados en el estudio de Avendaño & Cortés, (2020), lo cual indica que el desarrollo de las hojas fue

una respuesta aceptable en un sistema aeropónico, mismo que forma parte de la hidroponía, el número de hojas aumento significativamente al cabo de 14 días.

En cuanto a la acelga según Ube, (2014), a los 30 días determinó que el tratamiento Bali acelga presento 9,65 hojas, y a los 60 días tuvo 14,1 hojas, mientras que el Fordhook Giant tuvo 6,25 hojas a los 30 días y 10,8 hojas a los 60 días, mientras que en la investigación presente al cabo del día 30 tuvo entre 5 a 7,5 hojas, encontrándose en un valor aceptable, al día 44 en promedio llego a tener 5,75 hojas al momento de la cosecha, indicando que el aumento del número de hojas se detuvo, aumentado su volumen, sin embargo esta respuesta en parte se debió a la existencia de cercospora durante la investigación.

Altura de la planta

Tabla 11.

Análisis de varianza de la variable altura de planta, evaluando tres soluciones nutritivas en dos especies.

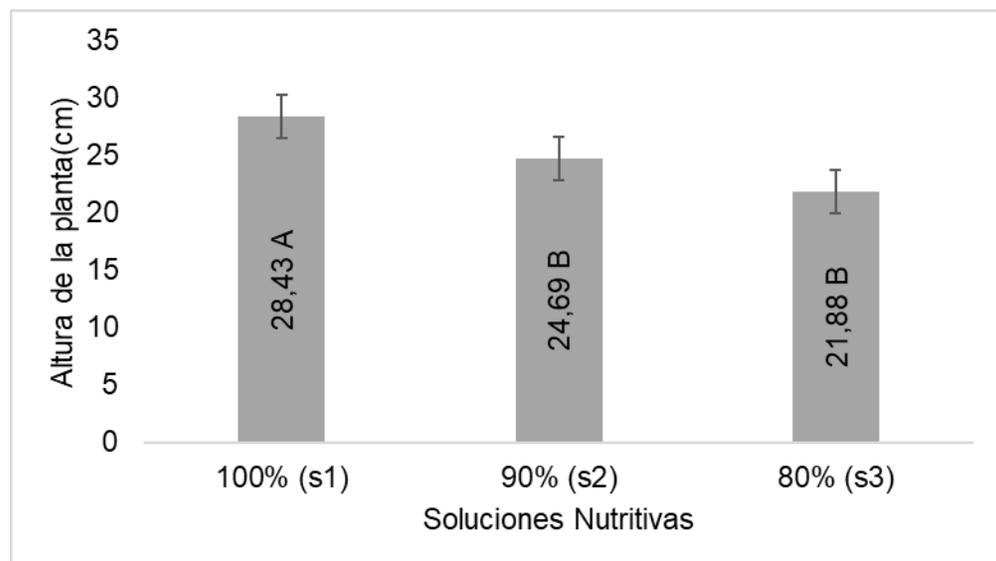
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Solución Nutritiva	172,78	2	86,39	12,45	0,0004 **
100% vs RESTO	141,25	1	141,25	20,36	0,0003 **
90% vs 80%	31,53	1	31,53	4,54	0,0471 *
Especie	542,17	1	542,17	78,14	<0,0001 **
Solución N.*Especie	38,24	2	19,12	2,76	0,0904 ns
Error	124,88	18	6,94		
Total	878,06	23			
CV	10,53				

En la tabla 11, se observa que en cuanto a la altura de la planta si existe una diferencia significativa entre las diferentes soluciones nutritivas, dando un p-valor de

0,0004, indicando que, si hubo efecto entre las soluciones propuestas, en cuanto a las especies se identificó que si existe una alta diferencia significativa entre ambas especies con un p-valor de $<0,0001$, en cuanto a la interacción de las Soluciones nutritivas*Especie se determinó que no existe diferencias significativas con un p-valor de 0,0904, en las comparaciones de 100% vs RESTO se observó que si existe diferencia altamente significativa con un p-valor 0,0003, en cuanto a la interacción de 90% vs 80%, se observó que si existe diferencia significativa entre estos dos tratamientos, obteniendo un p-valor 0,0471, en cuanto al coeficiente de variación este fue del 10,53%.

Figura 4.

Prueba de Tukey de la altura de la planta, en el factor evaluado dosis de soluciones nutritivas, en dos especies.

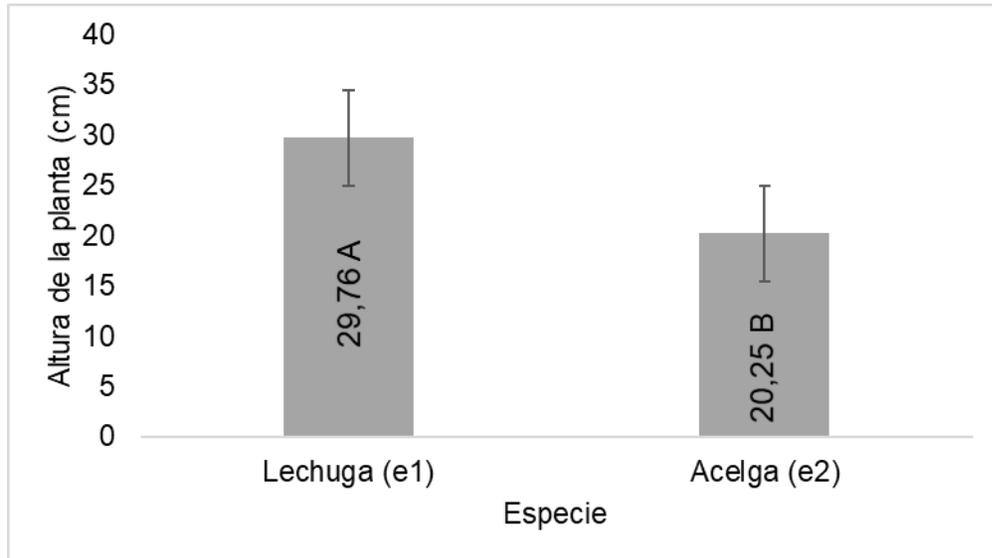


En cuanto a la altura de la planta, de acuerdo con la figura 4, se determinó que la solución al 100% (s1), posee el mejor resultado con una altura de planta de 28,43 cm,

a diferencia de la solución nutritiva al 80% (s3) la cual fue la que menor crecimiento tuvo con 21,88 cm.

Figura 5.

Prueba de Tukey para la altura de la planta, en el factor especies, en el estudio de soluciones nutritivas en dos especies lechuga y acelga.



Con respecto a la altura de la planta tomando en cuenta la especie, se encontró diferencias notorias, indicando un mayor desarrollo en la lechuga (e1), con 29,76 cm de altura, existiendo menor crecimiento en la acelga (e2) misma que presento 20,25 cm.

Según Avendaño & Cortés, (2020) en su estudio sobre la Evaluación del crecimiento de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa var. Crespa*) en sustrato, en su tratamiento control, sin sustrato la altura de la planta fue en promedio de 15,24 cm, al cabo de 30 días, en la investigación presente al cabo de 30 días se obtuvo en promedio de crecimiento de 15,60 cm, contrastando con la investigación de Avendaño & Cortés, (2020), ya que al día 44 la altura promedio fue de 29,76 cm, lo cual indica que creció en 14 días alrededor de 13,56 cm.

Según Ube, (2014), en el estudio de Adaptación y comportamiento agronómico de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris*), sembradas mediante sistema hidropónico de raíz flotante, en la variedad Bali tuvo 8,65 cm de altura los 30 días, y a los 60 días presentó 49,63 cm mientras la variedad Fordhook Giant tuvo entre 6,25 cm a 6,55 cm; a los 30 días y a los 60 días llegó a los 49,63 cm, lo cual concuerda con la investigación realizada, estableciéndose al cabo del día 30 un promedio de altura de 8,40 cm, lo cual entra dentro de los rangos obtenidos en el estudio de Ube, (2014), para el día 44 la altura de la planta llegó a medir en promedio 20,25 cm, lo cual indica un crecimiento adecuado.

Peso de la planta (g)

Tabla 12.

Análisis de varianza de la variable peso de la planta, en la evaluación de soluciones nutritivas en dos especies, lechuga y acelga.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Solución Nutritiva	416,13	2	208,07	17,59	0,0001**
100% vs RESTO	361,19	1	361,19	30,53	<0,0001**
90% vs 80%	54,95	1	54,95	4,64	0,045*
Especie	3239,89	1	3239,89	273,84	<0,0001**
Solución N.*Especie	12,07	2	6,04	0,51	0,7776 ns
Error	212,96	18	11,83		
Total	3881,06	23			
CV	13,58				

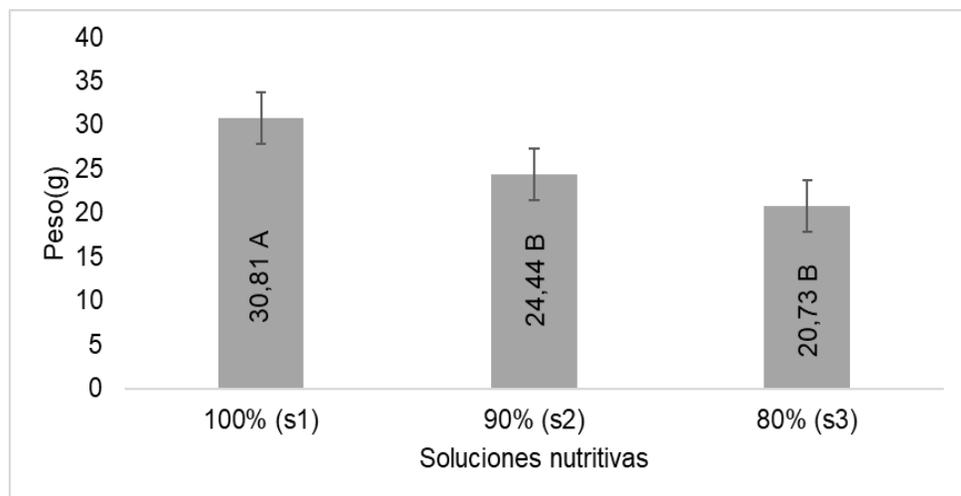
En la tabla 12, en cuanto a las soluciones nutritivas, existe una alta diferencia significativa, presentando un p-valor 0,0001, por otro lado en el análisis de especie se pudo observar que si existe una diferencia significativa con un p-valor <0,0001, en la

interacción Soluciones nutritivas* Especie, se reflejó que no existe diferencia significativa al interactuar juntos con un p-valor de 0,7776; sin embargo, en la comparación las soluciones nutritivas de 100% vs RESTO, se determinó que si existe diferencia altamente significativa p-valor de <0,0001, en cuanto a la comparación de 90% vs 80%, se determinó que si existe diferencia significativa obteniendo un p-valor de 0,045.

El coeficiente de variación fue de 13,58%.

Figura 6.

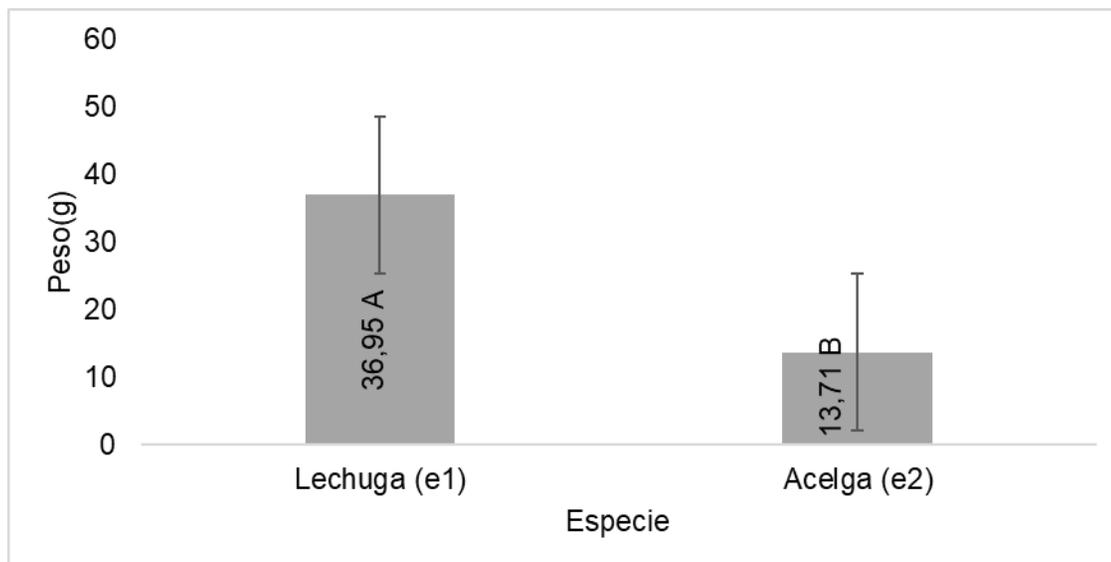
Prueba de Tukey para la variable de peso (g) de la planta, en el estudio de dosis de soluciones nutritivas en dos especies, lechuga y acelga.



En la figura 6, se pudo determinar que el mejor tratamiento es el s1, correspondiente a la solución nutritiva al 100%, con 30,81 g en promedio de peso por planta, siendo el tratamiento con menor peso el s3 con 80% de solución, finalizando su peso en 20,73 g.

Figura 7.

Peso de la planta según la especie, al cabo de 44 días, tras evaluar soluciones nutritivas en dos especies.



En la figura 7, se pudo observar el comportamiento del peso de la planta según la especie, donde se determinó que el mejor peso obtenido fue el de la lechuga (e1), la cual llegó a la cosecha con un peso promedio de 36,95 g, en contraparte la especie con menor peso fue la acelga (e2), con 13,71 g, mostrando una mejor respuesta la lechuga.

Según Avendaño & Cortés, (2020) en su estudio sobre la evaluación del crecimiento de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa var. Crispa*) en sustrato, en el tratamiento control, sin sustrato, al cabo de 61 días se determinó que el peso promedio fue de 41,75 g/planta, lo cual indica que el peso obtenido en la investigación presente es adecuado, ya que en 44 días el peso promedio fue de 36,95 g/planta, indicando un alto desarrollo, considerando que faltando 17 días para tener la misma edad del estudio de Avendaño & Cortés, (2020) el peso para alcanzar el promedio de dicho estudio fue de tan solo 6,8 g/pl, indicando que tuvo un buen peso para su edad.

Longitud de raíz (cm)

Tabla 13.

Análisis de varianza para la variable de longitud de raíz, evaluando soluciones nutritivas en lechuga y acelga.

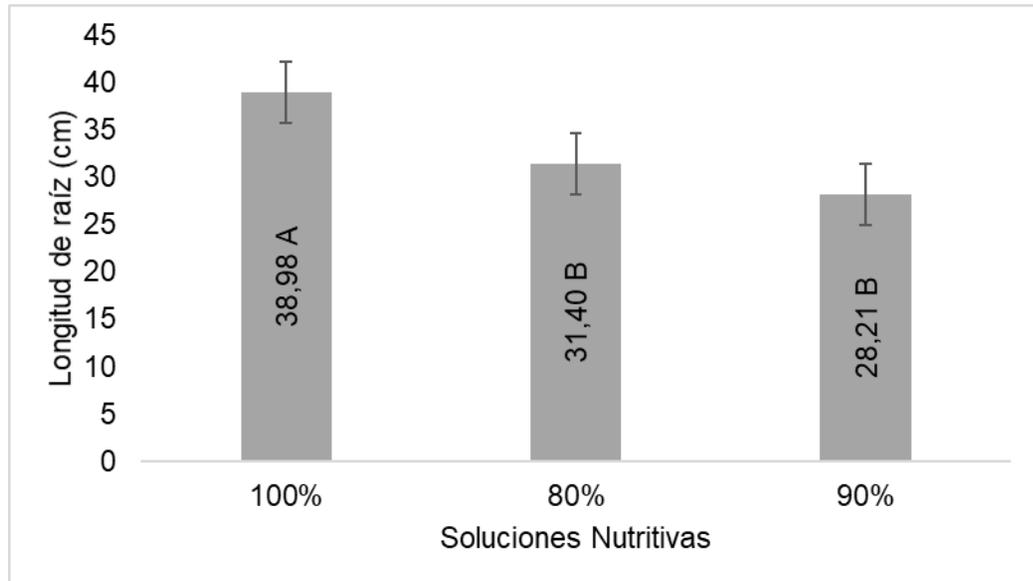
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	
Solución Nutritiva	490,03	2	245,02	16,43	0,0001	**
100% vs RESTO	449,33	1	449,33	30,13	<0,0001	**
90% vs 80%	40,7	1	40,7	2,73	0,1159	ns
Especie	42	1	42	2,82	0,1106	ns
Solución N.*Especie	13,7	2	6,85	0,46	0,639	ns
Error	268,48	18	14,92			
Total	814,21	23				
CV	11,75					

En la tabla 13, se observa que en la variable longitud de raíz, con respecto a la Solución Nutritiva, si existe diferencia altamente significativa con un p-valor de 0,0001, en cuanto a la comparación 100% vs RESTO se obtuvo un p-valor de <0,0001 indicando una diferencia altamente significativa, en la comparación de soluciones nutritivas al 90% vs 80% se presentó un p-valor de 0,1159 siendo no significativa, en el análisis de especie al presentar un p-valor de 0,1106 se determinó que es no significativa la diferencia, y para la fuente de variación Solución Nutritiva x Especie se presentó que no existe diferencia estadística al nivel del 5% de significancia con un p-valor de 0,639.

El coeficiente de variación es de 11,75%.

Figura 8.

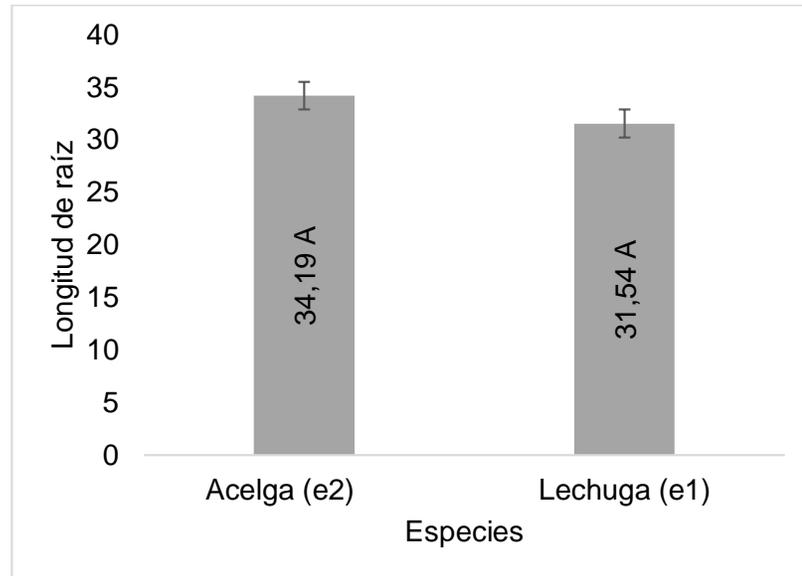
Prueba de Tukey para la variable longitud de la raíz, en la evaluación de soluciones nutritivas.



La figura 8, indica que la mayor longitud de raíz en ambas especies, tanto en acelga como en lechuga se dio en el s1 con una aplicación del 100% de la solución nutritiva, obteniéndose como resultado 38,98 cm de longitud de raíz en promedio, seguido por la dosis al 80% (s3) con una media de 31,40 cm de longitud y la dosis al 90% (T2) con 28,21 cm, por lo tanto, sin encontrarse diferencia significativa entre la dosis de aplicación del 80 y 90%.

Figura 9.

Prueba Tukey en la variable longitud de raíz, según la especie.



En la figura 9, se muestra la prueba de Tukey para la variable de longitud de raíz, se observa que la acelga (e2) tuvo una mayor longitud, con 34,19 cm en promedio, seguida de la lechuga con una longitud menor de 31,54 cm, el sistema radicular se desarrolló de manera adecuada en los diferentes tratamientos aplicados.

Esta información concuerda con lo citado por (Saavedra, 2017), el cual menciona que la lechuga posee una raíz pivotante que llega hasta los 60 cm de profundidad, misma que en hidroponía es cosechada a los 60 días, con una longitud de 24 cm promedio según (Velasco, Aguirre, & Ortuño, 2016), sin embargo (Hale, Lamotte, & Ianenetta, 2015) mencionan que en la aeroponía se produce tasas de crecimiento más rápidas en comparación con la hidroponía, como se demuestra en el ensayo de (Marwa, El-Sayed, Samir, & Zakaria, 2016) en el que la longitud de las raíces de lechuga aumentó de 17,17 a 19,13 cm después de 50 días de trasplante en aeroponía,

siendo mejores los resultados del presente ensayo, en el que se obtuvo un promedio de longitud de raíz en lechuga de 31,54 cm a los 44 días de trasplante.

En un estudio realizado por Flores, (2020) sobre producción de acelga en hidroponía, se obtuvieron resultados de longitud de raíz en promedio de 16,94 a 32,89 cm, evaluados a los 42 días después del trasplante, siendo mejores los resultados obtenidos en la presente investigación en un sistema aeropónico, con un promedio de 34,19 cm de longitud de raíz en acelga (e2) a los 44 días DDT.

Según (M.A.El-Helaly & Omaira, 2019) se atribuyen estos resultados debido a que el sistema aeropónico mejora la longitud de las raíces debido a que el sistema de raíces crece totalmente suspendido en el aire, lo que les da acceso al 100% del oxígeno disponible en el aire.

Evaluación de producción

Tabla 14.

Análisis de varianza de la variable rendimiento (kg), evaluando tres soluciones nutritivas en dos especies.

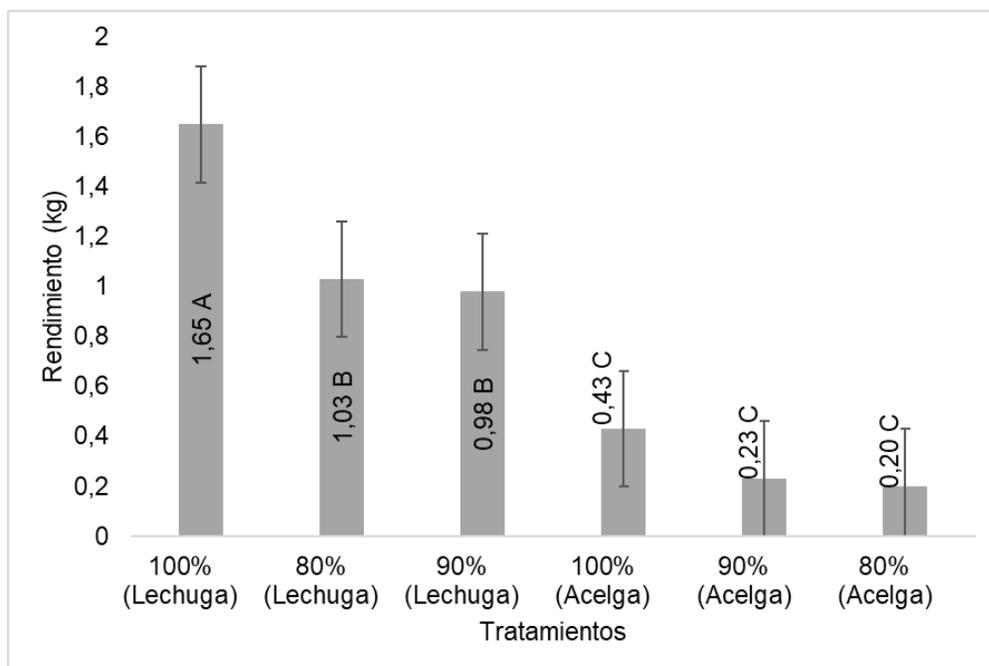
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	
Solución Nutritiva	0,99	2	0,5	44,66	<0,0001	**
100% vs RESTO	0,99	1	0,99	89,27	<0,0001	**
90% vs 80%	6,20E-04	1	6,20E-04	0,06	0,8152	ns
Especie	5,23	1	5,23	470,4	<0,0001	**
Solución N.*Especie	0,26	2	0,13	11,74	0,0005	**
Error	0,2	18	0,01			
Total	6,68	23				
CV	14,05					

En la tabla 14, se observa que en la variable rendimiento, existen diferencias estadísticas para las fuentes de variación, en el análisis de Soluciones Nutritivas con un p-valor $<0,0001$, demostrando la influencia de las soluciones al haber una diferencia altamente significativa, en 100% vs RESTO con un p-valor $<0,0001$ mostrando diferencia altamente significativa, en la comparación de 90% vs 80% se reflejó un p-valor de 0,8152, en el análisis entre especie se tuvo un p-valor $<0,0001$ demostrando que hubo una gran diferencia entre especies, lechuga y acelga, y en la fuente de variación Solución Nutritiva x Especie se observa un p-valor de 0,0005, determinándose así que existió diferencia altamente significativa.

El coeficiente de variación que presenta esta variable es de 14,05%.

Figura 10.

Prueba Tukey sobre el rendimiento productivo, medias en la interacción Solución Nutritiva x Especie.



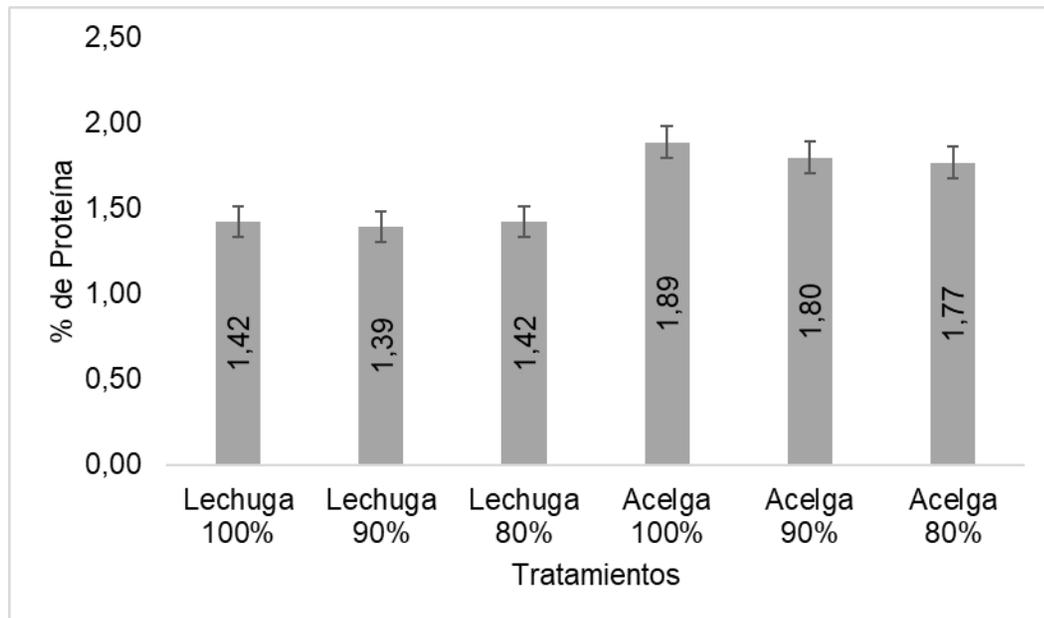
En la figura 10, se muestra la prueba de Tukey para la variable de rendimiento, se observa que, como especie la lechuga (e1) tuvo un mayor rendimiento, estando en primer lugar con 1,65 kg en 2 m² al aplicar el 100% de la solución nutritiva, mientras que en la aplicación del 80% se obtuvo un rendimiento promedio de 1,03 kg en 2 m² y en la aplicación del 90% de la solución nutritiva el rendimiento de lechuga fue de 0,98 kg en 2 m², a diferencia de la acelga (e2) en la cual su rendimiento fue menor, siendo este de 0,43 kg en 2 m² con la solución al 100% (s1), con 0,23 kg en 2 m² en la dosis al 90% (s2) y 0,20 kg en 2 m² en la solución al 80% (s3).

El rendimiento obtenido por (Garzón, 2006) fue en promedio de 0,47 kg/m² (0,22 - 0,92 kg/m²) en la producción de tres variedades de lechuga en hidroponía, valores que son superados en los resultados de la presente investigación, en los cuales se observa una producción de 0,98 a 1,65 kg/ 2m² en lechuga; mientras que para la acelga se obtuvo un rendimiento de 0,43 kg/2m² con la aplicación del 100% de la solución nutritiva (s1), siendo valores que se asemejan al estudio realizado por Ube, (2014), en el cual se obtuvo un rendimiento de 0,20 a 0,26 kg/m² en promedio para la var. Fordhook Giant.

Contenido de fibra y proteína

Figura 11.

Contenido de proteína en cada tratamiento.

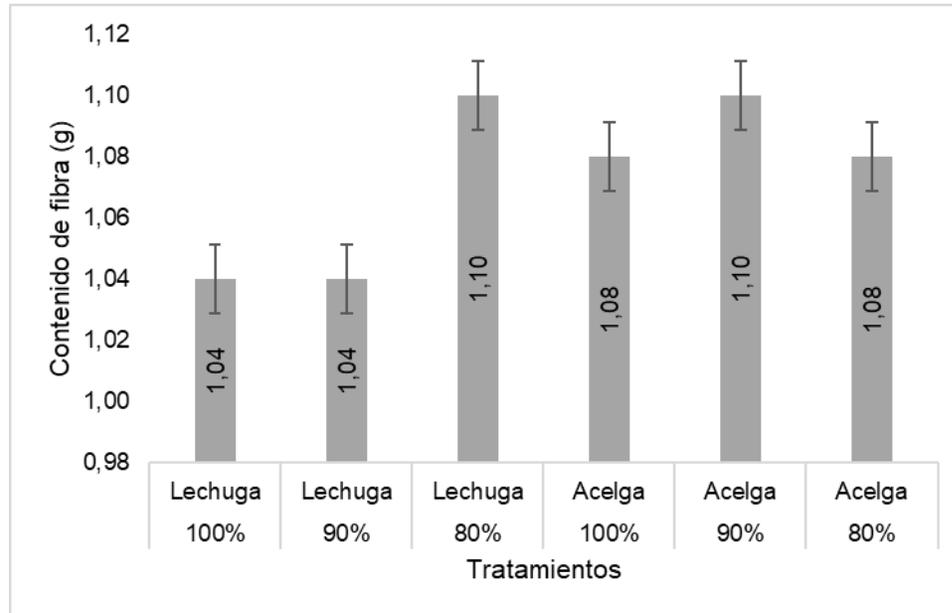


En la figura 11, se puede observar que en cuanto al contenido de proteína fue similar en todos los tratamientos en cuanto a la especie lechuga, debido a que los valores estuvieron rondando entre 1,42% en el tratamiento al 100% y 80% y a 1,39% en el T2, contrastando con los valores mencionados por Piasentini & Silveria, (2015) en el cual se indica que la lechuga tiene un porcentaje de proteína del 1,91% en cultivos hidropónicos y en cultivos convencionales de 1,03%, indicando que entra en los parámetros adecuados para la especie, en cuanto al cultivo de acelga el resultado fue adecuado de acuerdo a la especie, indicando que en el tratamiento al 100% posee un contenido de 1,89% de proteína, siendo la mejor respuesta, en cuanto al tratamiento al 90% se obtuvo una mínima diferencia, con un resultado final de 1,80% de proteína, en cuanto al tratamiento al 80% este obtuvo un resultado de 1,77%; contrastando con lo

mencionado por Terranova, (1995) el cual indica que la composición de proteína de la acelga es de 1,68%.

Figura 12.

Contenido de fibra en cada tratamiento.



En la figura 12, se refleja el contenido de fibra en ambas especies, lechuga y acelga, el cual se encontró dentro de los rangos nutricionales ya establecidos, se obtuvieron resultados similares en lechuga de 1,04 a 1,10 g y en acelga de 1,08 a 1,10 g en los tres tratamientos, como se demuestra en la tabla de composición de alimentos de Moreiras, Carbajal, Cabrera, & Cuadrado (2013) en la que se establece un valor de fibra 1,5 g en lechuga, y en la tabla de contenido nutricional de acelga elaborada por Victoria (2018), se determinan valores de 2,1 g de fibra, siendo menores los resultados de la presente investigación en acelga.

Relación costo-beneficio

Tabla 15.

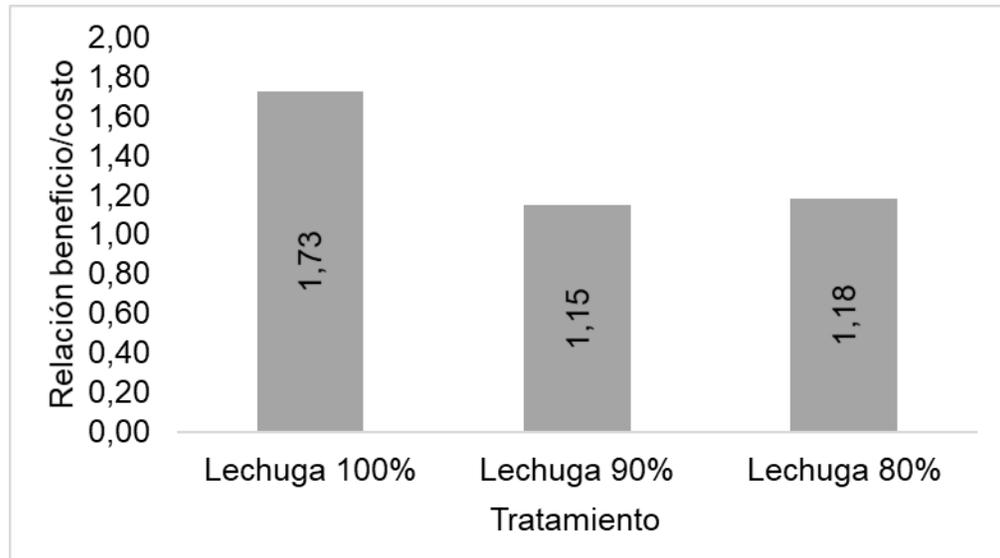
Relación beneficio/costo por tratamiento.

Relación beneficio/costo por tratamiento				
Tratamiento	s1e1	s2e1	s3e1	
Plantas	15,36	15,36	15,36	
Fertilizantes	26,82	24,14	21,46	
Total egresos/sistema	42,18	39,5	36,82	
Producción por m2 (kg)	13,12	8,16	7,84	
Ciclos de cosecha al año		1		
Total Ingresos	72,89	45,33	43,56	
Utilidad neta	30,71	5,83	6,74	
Relación beneficio/costo	1,73	1,15	1,18	

En la tabla 14, se puede apreciar el costo de producción por tratamiento, considerando un área de siembra de 16 m², mismo que es de \$38,66 para la dosis de 100%, \$36,33 para la dosis del 90% y \$32 para la dosis del 80%, cada uno con una producción de 240 plantas.

Figura 13.

Relación beneficio/costo por tratamiento.



Se determinó que el costo por sistema aeropónico con capacidad de 64 plantas es de \$134,46; con una vida útil de 10 años con mantenimiento, de acuerdo con los datos obtenidos de producción a los 44 días, se determinó que el tratamiento con mejor resultado de costo – beneficio fue el s1e1 con el 100% de solución nutritiva en lechuga, el cual tiene la capacidad de producir 1,65 kg/ 2 m², con una inversión de \$1,46 por metro cuadrado, dando como resultado una relación costo beneficio de 1,72; el cual indica que por cada dólar invertido se tiene una utilidad de 0,72 ctvs, esto independientemente del costo del sistema.

Tabla 16.*Relación costo/beneficio del sistema y la producción en base al cultivo de lechuga.*

Costo beneficio, 12 sistemas aeropónicos	
Plantas	46,08
Fertilizantes	69,9
Recursos humanos	900
Total egresos 1 año	1943,82
Total Ingresos 1 año	1800
Utilidad neta	-143,82
Reacción beneficio/costo	0,93
Costo beneficio sin recurrir a contratación	
Total egresos 1 año	1043,82
Total Ingresos 1 año	1800
Utilidad neta	756,18
Relación costo beneficio	1,72
Relación beneficio/ costo sistema aeropónico en 5 años	
Vida Útil	5
Costo sistema	134,43
Costo 12 sistemas	1613,16
Mantenimiento anual	20
Ingreso 5 años	9000
Egresos 5 años	5319,1
Utilidad neta	3680,9
Relación beneficio/costo	1,69

En la tabla 15 se puede observar que a los 2,13 años aproximadamente el sistema cubre su costo, mismo que tiene una vida útil de 5 años, con un costo beneficio de 1,69.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

La mejor solución nutritiva fue el s1, correspondiente al 100%, presentando una notable superioridad en sus variables como número de hojas el cual tuvo un promedio de 14,13; altura de la planta 28,43 cm, peso de la planta 30,81 g, longitud de raíz 38,98 cm y rendimiento de 1,65 kg/2 m² en el cultivo de lechuga y de 0,43 kg/2 m² en el cultivo de acelga.

El tratamiento de menor rendimiento fue la solución nutritiva del 80% (s3), con un número de hojas de 11,4; altura de planta 21,88 cm; peso de planta de 20,73 g; longitud de raíz 31,40 cm y una producción de 1,03 kg/2 m² en lechuga y 0,20 kg/2 m² en acelga observándose mejor adaptabilidad en el cultivo de lechuga, sin embargo, la diferencia no fue tan significativa entre la solución al 90% (s2) y al 80% (s3) en base a los resultados.

La lechuga fue la especie de mejor adaptación, presentó la mejor respuesta en sus variables, con un número de hojas de 20,13; altura de planta de 29,76 cm; peso de planta de 36,95 g; longitud de raíz de 31,54 cm y una producción de 0,98 a 1,65 kg/2m², presentando un contenido de fibra de 1,02 g y de proteína de 1,42%

Se determinó que el sistema permite mayor aprovechamiento de espacios pequeños adaptándose bien a la zona urbana, siendo adecuado para producción familiar y comercial, siempre y cuando se considere el conocimiento y la inversión inicial requiere menor mano de obra para manejar altas producciones.

La relación costo beneficio está alrededor de \$1,70 lo que nos indica que por cada dólar invertido se genera un ingreso neto de \$0,70; pudiendo aumentar su producción por metro cúbico.

En la relación costo beneficio, se determinó que el tratamiento al 100% (s1e1) presenta una relación costo – beneficio de \$1,73; indicando que por cada dólar invertido se obtiene 0,73 ctvs; esto sin considerar el costo de la infraestructura; en contraparte el tratamiento que menor respuesta presentó en el análisis costo – beneficio fue el tratamiento al 90% (s2e1), ya que tiene una relación costo – beneficio de \$1,15 obteniendo de ganancia 0,15 ctvs; es decir 0,58 ctvs menos que la solución nutritiva al 100% (s1e1).

Recomendaciones

- Se recomienda emplear la solución nutritiva del s1, es decir al 100% para lograr una producción adecuada en el cultivo de lechuga, en sistemas aeropónicos.
- Realizar su propio semillero en esponja fenólica para hidroponía para tener una mejor adaptación de la planta al momento del establecimiento y bajar los costos de producción.
- No es apropiado colocar dos especies diferentes, es decir lechuga y acelga en un mismo sistema, debido a que los tiempos de cosecha son diferentes entre ambas especies, el cultivo de lechuga se cosecha en menor tiempo.
- Se debe sellar bien los sistemas de recirculación para evitar fugas de la solución nutritiva para lograr así el uso más eficiente del agua.
- En futuras investigaciones, se debería estudiar los tiempos de nebulización e intervalos de tiempo entre riego del sistema aeropónico, para las condiciones climáticas de Santo Domingo.

Capítulo VI

Bibliografía

- Avendaño, L., & Cortés, L. (2020). *Evaluación del crecimiento de lechuga hidropónica (Lactusa sativa var. crispata) en sustratos con aprovechamiento de residuos plásticos Pet en el municipio de Villavicencio, Meta*. Villavicencio: Universidad Santo Tomas Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/28123/2020lauraavenda%C5%86o.pdf?sequence=5>
- Baixauli, C., & Aguilar, J. (2002). *Cultivo sin suelo de Hortalizas Aspectos practicos y experiencias*. Valencia - España : Generalitat Valencia .
- Beltrano, J. (2015). *Introducción al cultivo hidropónico*. Argentina : Universidad Nacional de la Plata.
- Calero, C. (2011). *Seguridad alimentaria en Ecuador desde un enfoque de acceso a alimentos*. Quito - Ecuador : FLACSO.
- Chávez, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). *Manual para la preparacion de soluciones nutritivas*. Coah - México: Universidad Autónoma agraria Antonio Narro.
- Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., & Njoloma, J. (2011). *Potencial del sistema aeropónico en la producción de semilla de patata de calidad (Solanum tuberosum L.) en países en desarrollo*. Malawi: Universidad de Malawi.
- Ciampiti, I., & Garcíá, F. (2012). *Requerimientos Nutricionales Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios*. Buenos Aires - Argentina: IPINI.

- Clavijo, C. (2013). *La agricultura urbana en Quito: Analisis de la sustentabilidad de las huestas de tres proyectos* . Quito : Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales .
- Eek Son, J., Jin Kim, H., & In Ahn, T. (2016). *Hydroponic Systems*. Corea del Sur : Universidad de Seúl.
- FLACSO . (2011). *Refugiados Urbanos en Ecuador* . Quito - Ecuador : FLACSO .
- Flores, G. (2020). *Producción de acelga (Beta vulgaris L. var Fordhook Giant) con uso de dos fuentes de agua salina en hidroponía - sistema de raíz flotante bajo condiciones de inverdadero en Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin.
- Garzón, S. (2006). *Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes*. Honduras: Zamorano.
- Gordillo, G. (2013). *Seguridad y soberanía alimentarias*. Buenos Aires : FAO.
- Hale, C., Lamotte, F., & Ianenetta, P. (2015). *The development of hydroponic and aeroponic culture systems for the high throughout production of basil*. Obtenido de www.hutton.ac.uk/webfm_send/413
- Jones, J. (2014). *Complete guide for growing plants hydroponically*. CRC Press.
- Kumar, K. (2019). *Design and evaluation of aeroponics system for efficient fertigation scheduling in lettuce*. New Delhi: ICAR.
- La Constitución de la República del Ecuador . (2010). *Ley Orgánica del régimen de la soberanía alimentaria*. ECUADOR : La Constitución de la República del Ecuador

- Lakhiar, I., Gao, J., Xu, X., Syed, T., Chandio, F., Jing, Z., & Buttar, N. (2019). *Effects of Various Aeroponic Atomizers (Droplet Sizes) on the Growth, Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Leafy Lettuce (Lactuca Sativa L.)*. ASABE.
- Lema, D. (2017). *Evaluacion de tres soluciones nutritivas en hidropónia en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) var crispa, en invernadero, departamento de horticultura, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. Riobamba - Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- M.A.El-Helaly, & Omaira, S. (2019). *Effect of culture system; aerponic, hydroponic and sandy substrate on growth, yield and chemical compositions of lettuce*. Giza, Egypt: Cairo University.
- Marbuenda, J., & García, J. (2017). *Acelga*. Obtenido de <https://www.publicacionescajamar.es/uploads/cultivos-hortícolas-al-aire-libre/13-cultivos-hortícolas-al-aire-libre.pdf>
- Marwa, M., El-Sayed, G., Samir, A., & Zakaria, A. (2016). *Comparison between hydroponic and aeroponic systems for lettuce production*. Egypt: Benha Univ.
- Mendoza, J. (2009). *Manual hidropónico cultivo de lechugas sistema raíz flotante*. Lima - Perú: Universidad Agraria La Molina en Lima .
- Minjuan, W., Chen, D., & Wanlin, G. (2019). *Evaluation of the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, biomass yield and quality of tomato using aeroponics, hydroponics and porous tube-vermiculite systems in bio-regenerative life support systems*. Beijing: Elsevier.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de Composición de Alimentos*. España: Pirámide.

- Orsini, F., & Kahane, R. (2013). *Urban agriculture in the developing world: A review*; Nono-Womdim, R; Gianquinto, G. France : INRA.
- Piasentini, m., & Silveria, L. (2015). *Estudio comparativo de la composición química de la Lactuca sativa L. obtenida por cultivo convencional, cultivo hidropónico y cultivo orgánico*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba .
- Ramya, V. (2019). Health benefits of vegetables. *International Journal of chemical Studies*, 83 - 85.
- Resh, H. (2001). *Cultivos hidropónicos*. Madrid - España : Mundi - Prensa .
- Rodríguez, A., & Proaño, I. (2016). *Quito siembra Agricultura Urbana* . Quito - Ecuador: Ediecuatorial .
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de lechugas* . Santiago, Chile : INIA.
- Shrestha, A., & Dunn, B. (2013). *Hydroponics* . Oklahoma: Univerdidad de Oklahoma.
- Soria, J. (2012). *Curso de hidroponía básica para principiantes Hidroponia y acuaponia del Caribe*. Obtenido de
file:///C:/Users/USER/Downloads/CURSO%20DE%20HIDROPON%C3%8DA%20PARA%20PRINCIPIANTES.pdf
- Terranova. (1995). *Enciclopedia agropecuaria Terranova*. Santafé Bogotá: Terranova.
- Tunio, M., Gao, J., Lakhari, I., Solangi, K., Qureshi, W., Shaikh, S., & Chen, J. (2021). *Influence of Atomization Nozzles and Spraying Intervals on Growth, Biomass Yield, and Nutrient Uptake of Butter-Head Growth, Biomass Yield, and Nutrient Uptake of Butter-Head*. Zhenjiang: Agronomy.

- Ube, R. (2014). *Adaptación y comportamiento agronómico de dos variedades de acelga (Beta vulgaris), sembradas mediante sistema hidropónico de raíz flotante, en la zona de Babahoyo*. Babahoyo - Los Ríos: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/683/T-UTB-FACIAG-AGR-000119.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velasco, J., Aguirre, G., & Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismo para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en el cultivo de hidroponía. *Revista Scielo*, pp. 76 - 79.
- Victoria, V. (2018). *Evaluación agronómica del uso de compost de origen agroindustrial para agricultura urbana*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Villacrés, H. (2019). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en la producción de Acelga (Beta vulgaris L.) var FORDHOOK GIANT, en hidroponía a raíz flotante en invernadero*. Riobamba - Ecuador: Escuela superior Politécnica de Chinborazo.
- Weathers, P., Liu, C., Towler, M., & Wyslouzil, B. (2008). *Mist reactors; Principles, comparison of various systems, and case studies*. Electron.
- Zeeuw, H. (2004). *The development of Urban Agriculture; some lessons learnt*. Beijing: RUAF.