

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento
y rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. *Caipiria* cultivada en
hidroponía.**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO

Bach. Noel Martinez Karen Lohana

TUMBES, PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento
y rendimiento de *Lactuca sativa L. var. Caipiria* cultivada en
hidroponía.**

Responsables:

Bach. Karen Lohana Noel Martinez



EJECUTORA

Dr. Ramón García Seminario



ASESOR

Ing. Kevin Carlos Noel Martinez



CO-ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA



**Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento
y rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. *Caipiria* cultivada en
hidroponía.**

JURADO CALIFICADOR

Dra. María Isabel Niquen Inga



PRESIDENTE

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete



SECRETARIO

MSc. Jalmer Fidel Campaña Olaya



VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



ANEXO VII

AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los tres días del mes de abril del dos mil veinticuatro, siendo las once horas y diez minutos, en el aula F2 del Pabellón de la Escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente - Ciudad Universitaria, se reunieron los integrantes del Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, designado con la Resolución N° 0040-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dra María Isabel Niquen Inga (Presidente), Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete, (Secretario) y Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya, (Vocal)**, reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Ramón García Seminario**, como asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: **"Evaluación de tres concentración de silicio en crecimiento y rendimiento de Lactuca sativa L. var. Caipiria cultivada en hidroponía"**, para optar el Título Profesional de Ingeniera Agrónomo, presentado por la **Bach. KAREN LOHANA NOEL MARTINEZ**. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 151 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declaran a la: **Bach. KAREN LOHANA NOEL MARTINEZ, aprobada por unanimidad con el calificativo de Bueno.**

Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda **apta** para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniera Agrónomo, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las trece horas con ocho minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar la presente acta.

Dra. María Isabel Niquen Inga
DNI N° 17538055
Código ORCID: 0000-0003-0057-4824

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete
DNI N° 16532820
Código ORCID: 0000-0002-3324-3741

Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya
DNI N° 00236469
Código ORCID: 0000-0002-0804-1208

Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento y rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. Caipiria cultivada en hidroponía.

por Karen Lohana Noel Martinez

Fecha de entrega: 26-dic-2023 10:52a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2264923310

Nombre del archivo: Tesis_de_pregrado_Karen_Noel_Martinez.docx (772.46K)

Total de palabras: 11600

Total de caracteres: 62171



Dr. Ramon Garcia Seminario
DNI 03683231
COD. RCID 0000-0003-0756-0935
ASESOR

Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento y rendimiento de Lactuca sativa L. var. Caipiria cultivada en hidroponía.

INFORME DE ORIGINALIDAD

INDICE DE SIMILITUD **16%** FUENTES DE INTERNET% **15%**
4 PUBLICACIONES%
7% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1 repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet **5%**

2 Submitted to Universidad Nacional de Tumbes **3%**
Trabajo del estudiante

3 repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet **1%**

4 worldwidescience.org Fuente de Internet **1%**


5 Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana **<1%**
Trabajo del estudiante


Dr. Ramon Garcia Seminario
DNI 03683231
COD. RCID 0000-0003-0756-0935
ASESOR

6	idoc.pub	Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ual.es:8080	Fuente de Internet	<1%
8	www.revista.ccba.uady.mx		
		Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	Trabajo del estudiante	<1%
10	repositorio.upse.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.umsa.bo	Fuente de Internet	<1%
12	www.goconqr.com	Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	Trabajo del estudiante	<1%
14	ciram.epagri.sc.gov.br	Fuente de Internet	<1%
		Dr. Ramón García Seminario DNI 03683231 COD. RCID 0000-0003-0756-0935 ASESOR	

15	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
16	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
17	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%
18	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
19	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
20	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
21	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
22	Dhamodharan Hemalatha, Somasundaram Prabhu, William Baby Rani, Rangasamy Anandham. "Isolation and characterization of toxins from Xenorhabdus nematophilus against Ferrisia virgata (Ckll.) on tuberosa, Polianthes tuberosa", Toxicon, 2018	<1%

Publicación


 Dr. Ramón García Seminario
 DNI 03683231
 COD. RCID 0000-0003-0756-0935
 ASESOR

23 cjas.science.com Fuente de Internet <1%

24 cybertesis.uach.cl Fuente de Internet <1%

25 Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador <1%
- PUCE
Trabajo del estudiante

26 www.readbag.com Fuente de Internet <1%

27 www.sach.cl Fuente de Internet <1%

28 es.scribd.com Fuente de Internet <1%

29 repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet <1%

30 www.slideshare.net Fuente de Internet <1%

Excluir citas


Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo


Dr. Ramon Garcia Seminario
DNI 03683231
COD. RCID 0000-0003-0756-0935
ASESOR

Declaración de Originalidad

Yo, Karen Lohana Noel Martinez, declaro que el presente trabajo de investigación, titulado "Evaluación de tres concentraciones de Silicio en el crecimiento y rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. Caipiria cultivada en hidroponía", es original y ha sido presentado con el fin de obtener el título de Ingeniero Agrónomo. En tal sentido, confirmo que, los resultados que se han reportado no han sido copiados de otros archivos o investigaciones. Por ello, la información que no me pertenece, usada para complementar y discutir la tesis, está citada y referenciada debidamente por derechos del autor. Siendo así, este trabajo, producto del esfuerzo de mi persona y asesor, en cuanto a su ejecución y redacción para su aprobación.

Br.Karen Lohana Noel Martinez

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de vivir y por otorgarme una familia excepcional. También, le doy gracias por haberme dotado de inteligencia, fuerza, habilidad, capacidad y fortaleza, lo que me permite enfrentar cualquier desafío que se presente. Con humildad desde lo más profundo de mi corazón, dedico todo lo que soy y todo lo que logro a Él.

Con mucho cariño, amor y aprecio principalmente a mis padres GIOVANNA MARTINEZ Y CARLOS NOEL que me dieron el don la vida y han estado conmigo en los mejores y peores momentos de mi vida. Gracias por todo papá y mamá, gracias por regalarme una carrera para mi futuro y tener una herramienta para poder defenderme en la vida, a pesar de haber atravesado momentos difíciles, siempre he contado con su apoyo incondicional y su amor inquebrantable. Por todas estas muestras de cariño, les estaré agradecido de por vida."

A mis familiares.

A Mi hermano y Coasesor KEVIN NOEL por su apoyo, gracias por sus consejos, aliento y dedicación incondicional, y por estar siempre conmigo apoyándome en todo y ser mi motor para seguir adelante.

A Mi Amada Hija Hannah por impulsarme a seguir siempre, por ser mi motivación que Día a Día me ayuda a crecer.

Agradezco sinceramente a todas las personas que han sido testigos de mis esfuerzos, victorias y caídas, y que comparten la felicidad de haber completado esta etapa profesional en mi vida. Su constante apoyo y compañía han sido invaluable. De corazón, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecerle a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado

En segundo lugar, agradecer al Dr. Ramón García Seminario, por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación que me ayudan a formarme como persona e investigador.

Agradezco a Mi hermano y Coasesor Ing., Kevin Carlos Noel Martínez, por su gran Dedicación hacia mi trabajo, por sus consejos, por brindarme todos los conocimientos necesarios

A mis padres, Hija, hermanos, abuelos, tíos y sobrinos por brindarme un hogar cálido y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr los objetivos. A mi esposo por su apoyo y comprensión.0

¡Gracias a ustedes!

INDICE GENERAL

pag.

DEDICATORIA.....	11
AGRADECIMIENTOS	12
INDICE GENERAL.....	13
INDICE DE TABLAS	1616
INDICE DE FIGURAS	17
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
CAPÍTULO I	20
INTRODUCCION	20
CAPITULO II.....	22
ESTADO DEL ARTE	22
2.1. Antecedentes	22
2.2. Marco teórico	26
2.2.1. Generalidades del cultivo de Lechuga.....	26
2.2.2. Origen y clasificación botánica	27
2.2.3. Características morfológicas	27
2.2.4. Descripción de la variedad Caipiria	28
2.2.5. Importancia del cultivo de lechuga.....	28
2.2.6. Condiciones agroclimáticas para su cultivo	29
2.2.7. Hidroponía	29
2.2.8. Ventajas de los cultivos hidropónicos.....	29
2.2.9. Sistema hidropónico de raíz flotante.....	30
2.2.10. Nutrición mineral	30
2.2.11. Solución nutritiva	31
2.2.12. Calidad del agua en hidroponía para la mezcla nutritiva	31
2.2.13. Aspectos generales del silicio	32
Absorción del silicio en las plantas.....	33
Absorción del silicio vía foliar	33
Absorción por el apoplasto.....	33
Absorción por el simplasto	33
Funciones del silicio	34
Distribución y translocación del silicio	35
2.2.14. Silicio en la solución nutritiva.....	36
CAPÍTULO III	37

MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Lugar de ejecución	37
3.2. Materiales:	37
3.3. Metodos	38
3.3.1. Tipo de investigación	38
3.3.2. Factor y Tratamientos en estudio	39
3.3.3 Características del producto comercial.....	39
3.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico	39
3.3.5. Variables y métodos de evaluación.....	41
a) Altura de planta.....	41
b) Número de hojas por planta.....	41
c) Longitud de la raíz	41
d) Biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz	41
e) Rendimiento.....	42
3.3.6. Conducción del experimento	42
3.3.6.1. Instalación del almácigo	42
e) Primer trasplante.....	45
f) Trasplante al sistema hidropónico de raíz flotante	45
g) Oxigenación	45
h) Control fitosanitario	46
i) Cosecha de plantas y toma de datos	46
CAPÍTULO IV	47
RESULTADOS	47
4.1. Características morfológicas	47
4.1.2. Número de hojas por planta.....	48
4.1.3. Longitud de la raíz.....	49
4.1.4. Biomasa fresca de la parte aérea de plantas de lechuga	50
4.1.5. Biomasa fresca de la raíz	51
4.1.6. Biomasa seca de la parte aérea de plantas de lechuga	52
4.1.7. Biomasa seca de la raíz.....	53
4.2. Rendimiento	54
CAPÍTULO V	56
DISCUSION	56
CAPÍTULO VI.....	58
CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO VII	59

RECOMENDACIONES	59
CAPÍTULO VIII.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60
ANEXOS.....	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor y tratamiento	39
Tabla 2. Concentraciones óptimas de los elementos esenciales en la solución nutritiva.....	43
Tabla 3. Formulación de la solución nutritiva "A". Volumen final concentrado a 5 litros de agua.....	43
Tabla 4. Formulación de la solución nutritiva "B". Volumen final concentrado a 2 litros de agua.....	44
Tabla 5. Formulación de la solución micronutrientes. Volumen final concentrado a 2 litros de agua.	44
Tabla 6. Formulación de la solución nutritiva concentrada "C". Volumen final concentrado a 2 litros de agua.	44
Tabla 7. Prueba Duncan (5%) para altura de planta.....	47
Tabla 8. Prueba Duncan (5%) para número de hojas	48
Tabla 9. Prueba Duncan (5%) para longitud de raíz.....	50
Tabla 10. Prueba duncan (5%) para biomasa fresca de la parte aerea	50
Tabla 11. Prueba Duncan (5%) para biomasa fresca de la raíz	51
Tabla 12. Prueba Duncan (5%) para biomasa seca de la parte aérea	52
Tabla 13. Prueba Duncan (5%) par biomasa fresca de la Raiz	53
Tabla 14. Prueba Duncan (5%) para rendimiento.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de la Temperatura (C°) cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	48
Figura 2. Promedio de la Altura de planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	49
Figura 3. Promedio del Número de hojas por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	50
Figura 4. Promedio de la longitud de la raíz (cm) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	51
Figura 5. Promedio de la Biomasa fresca de la parte aérea por planta (g) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	52
Figura 6. Promedio de Biomasa fresca de la raíz por planta (g) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	53
Figura 7. Promedio de la Biomasa Seca de la parte aérea por planta (g) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	54
Figura 8. Promedio de Biomasa Seca de la raíz por planta (g) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	55
Figura 9. Promedio del Rendimiento por planta (Kg) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante	56

RESUMEN

Brindando ciertos beneficios a las plantas, el silicio, un elemento no esencial, estimula la absorción de nutrientes, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas, e incrementa los rendimientos en diversos cultivos; además de proporcionar resistencia a factores bióticos y no abióticos. En este trabajo de investigación se estudió el efecto de tres concentraciones de silicio más un testigo en el crecimiento y rendimiento de *Lactuca sativa L. var. caipiria* cultivada en sistema hidropónico de raíz flotante. El ensayo experimental se realizó en el taller de enseñanza e investigación en sistema hidropónico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes en los meses de Junio – Setiembre del 2022. Se estudiaron tres tratamientos (T1: 1 ml/l, T2: 1,5 ml/l, T3: 2 ml/l, T: Testigo: sin aplicación de silicio) y tres repeticiones, dispuestos en un diseño de Bloques Completamente Aleatorizados. Se evaluaron variables morfológicas (altura de planta, longitud de la raíz, biomasa fresca y seca de la parte aérea y radical) y rendimiento. Para validar los datos obtenidos de las variables, se realizaron análisis de varianza (ANVA) y para la comparación de medias se utilizó la prueba estadística de significancia de Duncan al 5%. Los resultados mostraron que las concentraciones de 1 ml/l y 1,5 ml/l de silicio mejoraron las características morfológicas y el rendimiento de la lechuga variedad caipiria. Sin embargo, es menester realizar más ensayos similares para encontrar dosis óptimas y su posible resistencia a diversos factores ambientales.

Palabras clave: Hidroponía, minerales, lechuga, raíz flotante,

ABSTRACT

Providing certain benefits to, silicon, a non-essential element, stimulating the absorption of nutrients, favoring the growth and development of plants, and increasing yields in various crops; in addition to providing resistance to biotic and non-abiotic factors. In this research work, the effect of three concentrations of silicon plus a control on the growth and yield of *Lactuca sativa* L. var. caipiria grown in a floating root hydroponic system. The experimental test was carried out in the Teaching and Research Workshop on the Hydroponic System of the Faculty of Agricultural Sciences of the National University of Tumbes in the months of June - September 2022. Three treatments were studied (T1: 1 ml/l, T2: 1.5 ml/l, T3: 2 ml/l, T: Control: without silicon application) and three repetitions, arranged in a Completely Randomized Block design. Morphological variables (plant height, root length, fresh and dry biomass of the aerial and root part) and yield were evaluated. To validate the data obtained from the variables, analysis of variance (ANVA) was performed and for the comparison of means, Duncan's statistical test of significance at 5% was taken. The results showed that concentrations of 1 ml/l and 1.5 ml/l of silicon improved the morphological characteristics and yield of the caipiria variety lettuce. However, it is necessary to carry out more similar trials to find optimal doses and their possible resistance to various environmental factors.

Keywords: hydroponics, minerals, lettuce, floating root.

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

Las hortalizas, incluyendo la lechuga, son un grupo importante de alimentos que aportan nutrientes esenciales para la salud humana (Lupinta, 2016), principalmente vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes (Silva, 2017). La producción mundial de hortalizas en 2020 fue de aproximadamente 1,5 mil millones de toneladas (Cuastumal et al., 2016). China, India y Estados Unidos son los principales productores, siendo ellos quienes destacan. La lechuga es una de los vegetales más consumidos en el mundo y se cultiva en diferentes regiones, incluyendo, América del Norte, Europa y Asia. En Perú, se siembra en la costa norte y centro, cuya producción fresca y procesada está destinada básicamente a mercados internacionales, siendo Estados Unidos su principal importador.

Las malas prácticas agrícolas (uso de fertilizantes químicos, plaguicidas, maquinaria agrícola, quema de residuos de cosecha, entre otros) están alterando los agro-ecosistema, principalmente el suelo y las masas de agua, dando como resultado una menor productividad y calidad de los productos agrícolas (Rodríguez et al.,2018).

El cultivo hidropónico se ha convertido en una alternativa de solución a la escasez de suelos, que utiliza de manera racional los nutrientes y agua para cultivar plantas. Con esta técnica se obtienen rendimientos elevados, una producción constante durante todo el año, cultivo de múltiples especies vegetales en espacios reducidos (Ávila & van Veenhuizen, 2003). La lechuga variedad Caipiria, es muy valorada por su alto contenido de nutrientes, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y se adapta bien a condiciones de hidroponía (North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox, 2023).

Sin embargo, el sistema de producción hidropónica también presenta algunos desafíos, como son, el proporcionar nutrientes en concentraciones adecuadas a

las diferentes especies de plantas, y garantizar que estas plantas estén protegidas contra estreses ambientales. El papel fundamental del silicio se hace evidente en el proceso de crecimiento y evolución de las plantas. Contribuye significativamente a mejorar su capacidad de resistencia ante diversos tipos de estrés, tanto biótico como abiótico. Adicionalmente, potencia la captación de elementos nutritivos, resultando en una mejora notable de la producción y excelencia (De Souza., et al 2020, Gavilán, Vázquez & Cedillo 2016).

El aspecto nutricional de plantas en hidroponía, ha sido ampliamente estudiado; sin embargo, la introducción de elementos considerados no esenciales en las soluciones nutritivas ha sido poco abordada; por lo que resulta necesario, investigar este tema para una mejor comprensión de su rol en la producción de las plantas cultivadas. En este estudio su objetivo es evaluar el efecto de tres concentraciones del elemento silicio en el crecimiento y rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Caipiria cultivada en hidroponía.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

2.1. Antecedentes

Los estudios relacionados con la solución nutritiva aplicados a los pepinos indican que el silicio podría brindar ventajas al desarrollo de ciertas plantas dentro del reino vegetal. A partir de lo expuesto anteriormente, se llevó a cabo un experimento con el objetivo de investigar el efecto del Si y la solución nutritiva y sus interacciones en el diámetro del tallo, peso fresco y seco, composición y distribución de potasio y calcio en el aire. Partes de plantas y raíces de manzano cultivados en un sistema de riego cerrado. Se realizaron ocho ensayos utilizando diferentes mezclas de soluciones nutritivas, las cuales surgieron de la combinación de dos variables: la cantidad de SiO_2 (0, 0.5, 0.75 y 1 mol.m³) y la elección entre las soluciones nutritivas de Steiner y Espinosa. Este estudio adoptó un diseño experimental completamente aleatorio en forma de factorial. No se observó una influencia importante en la variable del grosor del tallo debido a interacciones. No obstante, la concentración de 0.5 mol.m³ demostró impactos positivos en la masa fresca, la masa seca de la parte superior de la planta y la masa seca total. La presencia de silicio y la elección de la solución nutritiva no tuvieron impacto en la masa seca y masa fresca de las raíces. No obstante, la inclusión de silicio (a una concentración de 1 mol.m⁻³ de SiO_2) condujo a un aumento notable en la cantidad de silicio presente en la parte aérea de la planta. El mejor tratamiento, que mostró el mayor contenido de Si en la fracción aérea (919.3 ppm), fue utilizando una concentración de 1 mol.m⁻³ de SiO_2^- en la solución de Espinosa. En cuanto al stock, la combinación más adecuada fue utilizando una concentración de 0.5 mol.m⁻³ de SiO_2^- en la solución de Steiner (1432 ppm). No se observó ninguna interacción significativa entre los elementos en términos de concentraciones de calcio y potasio en la fracción aérea (Quiroga, 2016)

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de sílice sobre la fertilidad del suelo, la incidencia de plagas, el rendimiento y la calidad del grano de arroz CR 4477. El estudio se realizó en La Vega, Florencia y San Carlos, Costa Rica de mayo a octubre de 2010 en el mismo campo. Se implementaron cinco tratamientos distintos para evaluar el efecto del silicio en diferentes formas: silicio aplicado al suelo, silicio al suelo con pesticida (una alternativa química), silicio aplicado a la hoja, silicio en la hoja con pesticida y un grupo de control. La fuente de silicio utilizada fue un polvo que contiene un 70% de SiO_2 , aplicado 15 días antes de la siembra a una dosis de 100 kg de SiO_2 por hectárea. También se aplicó un líquido concentrado que contiene un 40% de SiO_2 y un 36% de MgO al follaje a razón de 4 litros por hectárea, aplicándolo en los días 1 y 30 después de la siembra. Al inicio del experimento, el suelo utilizado era un estrato aluvial Inceptizoriano con un pH de 4,9. Los valores iniciales de P y Si fueron de 29 y 44,7 ppm, respectivamente, mientras que la acidez intercambiable fue de 1,2 $\text{cmol}(+)/\text{l}$, y la base total alcanzó los 19,11 $\text{cmol}(+)/\text{he}$. En términos generales, no se evidenciaron impactos notables del silicio en la productividad del suelo, la presencia de plagas y enfermedades, ni en la calidad del proceso de molienda, a excepción de la combinación de sílice aplicada al suelo junto con pesticidas, lo cual resultó en un aumento de los niveles de zinc y cobre en el suelo. Además, se encontró que las hojas de arroz fueron afectadas, aunque este efecto no tuvo un impacto negativo en el rendimiento ni en la calidad del grano. También se constató en los hallazgos que la aplicación de pesticidas contribuyó de manera beneficiosa al peso y la productividad del arroz, presentando una relevancia estadística ($p \leq 0.05$). (Furcal, 2012)

En un estudio realizado Reyes et al., (2019), En la región de Santa Elena, se vislumbra un considerable potencial agrícola, aunque en determinadas áreas se enfrenta a desafíos como la falta de recursos hídricos para el riego y una marcada incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, lo que conlleva al incremento en el uso de insumos químicos y, por ende, aumenta los costos de producción. Para abordar este problema, propuso el uso de sistemas hidropónicos para aumentar la eficiencia del uso del

agua y los nutrientes y reducir los costos. En este proyecto de investigación, se evaluó el rendimiento de la lechuga hidropónica en el sistema de raíz flotante con tres bioestimulantes diferentes. En un diseño de carácter aleatorio total, empleó la variante de lechuga denominada Vizir, aplicando 6 distintos enfoques con 4 repeticiones cada uno. Cada instancia experimental estuvo conformada por un total de 20 plantas por metro cuadrado. En el experimento, se incorporaron el bioestimulante extracto de alga marina a una concentración de 0.30 g/L y el óxido de silicio a 0.25 cc/L a la solución nutritiva. Además, se administró aminoácido por vía foliar a una concentración de 1 g/L. Los resultados obtenidos indicaron que el mayor rendimiento se observó en el T1 (grupo de control) con un total de 4,268.16 g y una altura promedio de 14.75 cm. El peso fresco del follaje resultó ser 122.09 g y el peso fresco de la raíz fue de 12.35 g. No obstante, el T4 (grupo con aminoácidos) mostró el mayor recuento de hojas con un promedio de 26 hojas por planta. El cálculo del calor acumulado para el desarrollo del escapo floral de la variedad Vizir fue de 375.2 grados días acumulados hasta el día 20 después del trasplante, lo que indica el momento óptimo de cosecha. El consumo de agua por planta por ciclo fue de 1.39 L, y el costo de producción para una infraestructura de 1000 m² fue de USD \$ 1,224.19, con un valor por unidad de lechuga (134.44 g) producida de USD \$0.09.

Así mismo, una investigación experimental realizada por (Huanaco & Rosas, 2020) en la región de Arequipa, provincia Arequipa y distrito Yanahuara, buscó identificar la mejor variedad y solución nutritiva para el cultivo de lechugas hidropónicas en el sistema Nutrient Film Technique (NFT) bajo invernadero en la ciudad de Arequipa. En un diseño completo al azar con arreglo factorial 2x3, se utilizaron tres variedades de lechuga (Waldmans Green, Hardy y Bonita) y dos soluciones nutritivas (La Molina y Hoagland). Se generaron un total de 6 tratamientos con 5 repeticiones cada uno, resultando en un total de 30 unidades experimentales. Se procedió a realizar un análisis de varianza (ANVA) sobre los resultados obtenidos, los cuales fueron posteriormente contrastados utilizando las amplitudes de Duncan, estableciendo un nivel de importancia de $\alpha = 0,05$

para las comparaciones. Se determinó que la solución nutritiva La Molina fue la más efectiva en términos de altura de las plantas, con un promedio de 19,59 cm, Por otro lado, la variedad Waldmans Green exhibió la altura más elevada, alcanzando los 19,95 cm. La solución nutritiva La Molina también permitió un mayor peso promedio de las plantas con 152,64 g, Además, la variedad Bonita presentó el mayor peso promedio por planta, llegando a 195,43 g y un rendimiento de 651,43 kg/ha. La rentabilidad neta más alta se obtuvo con la variedad Bonita, con un 66% de rentabilidad.

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes fuentes de silicio en la fase de raíz in vitro del plátano maca usando análisis fisiológicos, fitotécnicos y ultraestructurales. Ya se han utilizado propágulos inoculados in vitro inoculados en medio MURASHIGE & SKOOG (MS) suplementado con 30 g de sacarosa, 1 mg de NAA (ácido naftaleno acético). y endurecido con 1,8. Se probaron tres fuentes de silicato añadidas al medio MS: silicato de sodio, silicato de potasio y silicato de calcio a la dosis de 1 g y medio MS sin silicato como control. Se empleó un diseño experimental de naturaleza completamente aleatoria, contando con quince repeticiones. Las propagaciones se almacenaron en una cámara de crecimiento controlado durante 45 días. En presencia de silicato de calcio, se observó un aumento en los niveles de clorofila total. La adición de silicato de sodio al medio de crecimiento contribuyó a aumentar la longitud y la masa seca y húmeda de los brotes. El silicio garantiza el apropiado crecimiento de las plántulas. (Castañeda, 2019)

El propósito de este estudio fue investigar el efecto de sílice en la conservación postcosecha de la lechuga iceberg 'Lucy Brown' mínimamente procesada. La lechuga se cultivó hidropónicamente y la fuente de silicio utilizada fue silicato de potasio con una concentración de 0. 28, 56 y 84 mg L⁻¹. Después de la cosecha, las hojas seleccionadas se lavaron con agua corriente, se cortaron en anchos de 20 mm, se semiprocesaron y se sumergieron en Smabeg (r) para su desinfección. Se centrifugaron manualmente, se sellaron en bolsas de polipropileno y

se almacenaron a 3°C y 85 ± 3% de humedad relativa (HR). Durante el período de almacenamiento de 16 días, la composición del gas, la fuerza, la clorofila y la acidez titulable, las actividades enzimáticas de polifenol oxidasa y peroxidasa y el análisis microbiológico se evaluaron tres veces cada 4 días. Todos los tratamientos redujeron el contenido de O₂ hasta los 4 días de almacenamiento. Sin embargo, cuando se trató con 28 mg L⁻¹ de silicio, la fracción de CO₂ aumentó en un 5%. Las concentraciones más altas de silicio permanecieron altas en la resistencia de la hoja. El contenido total de clorofila se mantuvo estable durante el período de almacenamiento. La actividad de la enzima polifenol oxidasa disminuyó el día 8. La actividad de la peroxidasa mostró un aumento a una concentración de silicio de 84 mg L⁻¹ durante el período de evaluación. Los recuentos totales de *E. coli* y los recuentos de *E. coli* termoestable permanecieron bajos durante el almacenamiento. Una concentración de silicio de 84 mg L⁻¹ produjo hojas más firmes y llenas y mantuvo la vida útil durante 16 días en lechuga mínimamente procesada. (Mendoza,2022)

2.2. Marco teórico

2.2.1. Generalidades del cultivo de Lechuga

La lechuga, debido a su elevada concentración de nutrientes y su amplia debido a su amplia gama de formas y colores, se encuentra entre las hortalizas más populares en términos de consumo y extendidas en el mundo. Se cultiva principalmente en regiones templadas y subtropicales, y en los últimos años, su producción ha incluido cultivos al aire libre, en invernaderos, tanto en suelo como en hidroponía (INIA, 2017).

2.2.2. Origen y clasificación botánica

Sobre el origen de la lechuga, existen numerosas teorías. Algunos afirman que se originó en el Mediterráneo, mientras que otros sugieren que su origen se encuentra en la India o Asia Central, fue introducida en las Américas por los primeros exploradores y se cultivó por primera vez en el Caribe. (Cámara de Comercio de Bogotá [C.C.B] 2015, Vega, 2013). establece las siguientes categorías taxonómicas para la lechuga.

Clasificación Botánica

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Lactuca sativa</i>

2.2.3. Características morfológicas

La lechuga es una hierba anual que presenta un tallo cilíndrico y carnoso de corta longitud, oscilando entre 2 y 5 cm. Sus hojas, que varían en forma según la variedad, se disponen en forma de roseta y pueden ser lisas, anchas o estrechas. Su sistema radicular es denso y superficial, caracterizado por raíces poco profundas y horizontales. Las inflorescencias se encuentran dispuestas en racimos de 15 a 25 flores,

las cuales son autógamas. El fruto es de tipo aquenio, de pequeño tamaño, llegando a medir 3 mm. Las semillas son pequeñas y cuentan con un vilano plumoso (Sidmizu, 2014).

2.2.4. Descripción de la variedad Caipiria

La variedad *Caipiria* es una planta autógrama de hojas uniformes, fuertes, voluminosas y gruesas de coloración verde - clara, de tamaño de 40 x 22 cm, con tolerancia al espigado (Hortiseed SRL, s. f.); En su estado ideal de cosecha, la planta presenta una raíz pivotante gruesa en la corona que se reduce gradualmente en profundidad, alcanzando una profundidad de más de 60 cm. Por lo tanto, la absorción de nutrientes y agua ocurre principalmente en las capas superiores del suelo, como menciona (Saavedra et al., 2017). El tallo, que carece de ramificaciones, se presenta en una forma pequeña y cilíndrica. No obstante, durante la etapa comercial, el tallo se alarga considerablemente, llegando a alcanzar una longitud de hasta 1,2 metros, mostrando ramificaciones en el borde y la aparición de ramillas terminales de una inflorescencia en cada punta, de igual forma esta variedad muestra buenos resultados en cultivos hidropónicos, se cultiva durante todo el año (Corpoica, 2016).

2.2.5. Importancia del cultivo de lechuga

La lechuga es una de las hortalizas más importantes del mundo y está ganando cada vez más popularidad como alimento natural, bajo en calorías y de agradable sabor. La lechuga es una planta que goza de gran reconocimiento y es ampliamente cultivado en la mayoría de las naciones. Su producción es relativamente simple, lo que posibilita la mejora de la calidad del producto y aumentar la disponibilidad de variedades superiores (Jiménez, 2016).

2.2.6. Condiciones agroclimáticas para su cultivo

La lechuga es una planta muy susceptible a los cambios en su entorno. Para que germine adecuadamente, requiere temperaturas comprendidas entre 18 y 21 °C; si las temperaturas se encuentran por encima o por debajo de este rango, la germinación se ve afectada negativamente. Además, su desarrollo óptimo se logra en temperaturas nocturnas de 5 a 12 °C y diurnas de 17 a 28°C, siendo los 22°C los más favorables. La humedad relativa también juega un papel importante en el cultivo de la lechuga. La tasa de humedad adecuada se encuentra en el rango del 60 al 80%. No obstante, en ciertas situaciones específicas, se debe reducir a menos del 60% (Astudillo & Barreiro, 2021).

2.2.7. Hidroponía

Es un sistema de producción que, incluye todas las formas de cultivar plantas sin utilizar el suelo, por lo cual se utiliza como medio algún material sólido como la piedrilla, fibras de coco, cascarilla de arroz, etc., o en agua. Las plantas, mediante esta técnica, se alimentan a través del riego, el cual proporciona todos los nutrientes minerales necesarios para su crecimiento y producción (MINAG, 2015).

2.2.8. Ventajas de los cultivos hidropónicos.

La hidroponía ha sido adoptada como una estrategia para el cuidado de las plantas, debido a que es una alternativa a la agricultura tradicional, por lo cual puede disminuir y eliminar los componentes limitantes del crecimiento vegetal (Escuderos et al., 2017). Debido a esto, se ha considerado como la base principal de los alimentos, gracias a su capacidad destacada para generar una gran cantidad de productos alimenticios en diversos entornos ambientales (Alveal Concha, 2014). Los cultivos hidropónicos tienen diversas ventajas debido a que minimizan el tiempo de cosecha de los alimentos, ya que no contienen productos químicos y no son procesados por aditivos, obteniéndose un mayor

rendimiento en la calidad del alimento, un ahorro significativo de agua y energía, así como también la disminución radical del uso de pesticidas que son dañinos para la salud, de igual forma la mejora en relación costo beneficio sin tener dependencia de suelos (Cruz & Montiel, 2010).

2.2.9. Sistema hidropónico de raíz flotante

Es una técnica hidropónica que consiste en desarrollar plantas sobre superficies de unicel, el cual se mantiene flotando sobre contenedores con solución nutritiva oxigenada periódicamente para brindar a las raíces el oxígeno requerido (Hidro Environment, 2019). Es importante señalar que mediante esta técnica es posible mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, lo que resulta en una reducción del tiempo que pasan en su fase vegetativa y un consumo más eficiente de agua. Además, se logra obtener vegetales en estado óptimo de salud y exentos de enfermedades, lo que resulta en destacadas ventajas para la salud. Al mismo tiempo, esta metodología permite hacer un uso más eficiente de áreas de cultivo reducidas (Castañeda et al., 1997)

2.2.10. Nutrición mineral

Soria (2012), indica que las plantas, así como cualquier ser vivo necesita alimento para poder cumplir con todos sus procesos fisiológicos que le permitan y desarrollarse adecuadamente. En hidroponía, las plantas reciben un conjunto de elementos minerales necesarios para su crecimiento sano, vigoroso y con excelentes rendimientos. Son conocidos 92 elementos naturales, de los cuales 60 se han encontrado en diversas plantas. Sin embargo, muchos de ellos no son considerados esenciales para su crecimiento. Según, este mismo autor, para que un elemento sea esencial, tiene que cumplir tres requisitos fundamentales:

- La planta no puede completar su ciclo de vida en caso de que este elemento esté ausente.
- La función de este elemento es específica y no puede ser sustituida por ningún otro elemento.
- En lo relacionado con la alimentación, crecimiento y procesos metabólicos de la planta, es esencial que los elementos minerales estén completamente involucrados. No obstante, en hidroponía, solo se consideran esenciales 16 elementos, los cuales se dividen en macronutrientes y micronutrientes.

2.2.11. Solución nutritiva

Con respecto al desarrollo, crecimiento y procesos metabólicos de las plantas en hidroponía, es necesario aplicar 16 elementos esenciales. Estos elementos se encuentran en forma de sales minerales disueltas en el agua y se dividen en macronutrientes, que las plantas necesitan en cantidades significativas, y elementos micronutrientes, que son necesarios en menor cantidad. Los macronutrientes son: Carbono (C); Hidrógeno (H) y Oxígeno (O) los cuales provienen del agua y aire, Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S) que junto con los tres anteriores forman parte de las proteínas, Los macronutrientes, que forman parte de la estructura celular y participan en las reacciones bioquímicas y metabólicas, incluyen al Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K). Por otro lado, los micronutrientes tales como Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn) también son considerados esenciales (Soria, 2012).

2.2.12. Calidad del agua en hidroponía para la mezcla nutritiva

El agua empleada en el sistema hidropónico debe ser apta para el consumo y de calidad, con niveles reducidos de cloro. El cloro puede volverse perjudicial para las plantas en concentraciones elevadas ya que es a través del agua que se les proporciona la solución nutritiva necesaria.

La condición del agua desempeña un papel fundamental en la práctica de la hidroponía, ya que puede ser limitante debido al uso de sustratos inertes y/o una solución nutritiva que provee todos los elementos minerales necesarios para el crecimiento de las plantas. Todos estos minerales deben disolverse en agua de calidad para mantener constante la composición química de la solución y garantizar la disponibilidad de nutrientes en todo momento (Andrade, 2022)

2.2.13. Aspectos generales del silicio

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, constituyendo aproximadamente el 27.7% de su peso, seguido del oxígeno que representa el 47%. Se trata de un elemento químico con propiedades metaloides y un característico color amarillento, obtenido de minerales como el cuarzo (Delaferia, 2018). El silicio desempeña un papel fundamental en el fortalecimiento de las estructuras de las hojas y la resistencia del tallo, lo que ayuda a mejorar las defensas contra insectos (Castellanos et al., 2015). También proporciona beneficios a las paredes de los vasos del xilema, previniendo la acumulación de humedad en su interior en situaciones de transpiración intensa, debido a la tensión por el calor. Sin embargo, es importante destacar que las funciones metabólicas se ven afectadas cuando las temperaturas superan los 32 °C, ya que las plantas pierden agua a través de la transpiración, lo que puede resultar en daños intracelulares y un aumento en la acumulación de minerales que inhiben sus funciones (Arévalo, 2017)

Absorción del silicio en las plantas

Se pueden emplear diversos métodos para añadir silicio a la solución nutritiva, tales como el uso de ácido monosilícico, silicatos de potasio, silicatos de calcio y silicatos de sodio (Urrestarazu et al., 2016). Para que el silicio sea asimilable por las plantas, debe estar presente en forma de ácido silícico (Si(OH)₄), también conocido como silicio activo, bioactivo, reactivo o soluble. En el suelo, el silicio se encuentra de manera natural en niveles aproximados de 30 a 40 mg.kg⁻¹ de suelo (Delaferia, 2018).

Absorción del silicio vía foliar

Poros hidrofílicos en las hojas permiten la absorción de nutrientes tanto por el haz como por el envés. La cantidad de estomas determina esta absorción, y los poros están relacionados con dicha cantidad. La fertilización foliar, considerada complementaria en etapas de desarrollo, resulta más eficiente y menos contaminante que la edáfica. En el suministro de elementos en proporciones grandes (Micronutrientes), la planta presenta limitantes en su absorción (Arévalo, 2017)

Absorción por el apoplasto

Los tejidos forman el apoplasto, que consiste en espacios intercelulares, el xilema y la pared celular de la planta (parte abiótica). El agua y los nutrientes atraviesan la epidermis y corteza para llegar a la endodermis a través del apoplasto. En caso de que la planta no cuente con exodermis, utiliza la vía del simplasto; de lo contrario, la solución solo puede llegar a la estela mediante la vía apoplástica (Peña, 2011).

Absorción por el simplasto

La solución nutritiva, compuesta por agua y nutrientes, se desplaza a través del apoplasto hasta llegar a las bandas de Caspari. Estas bandas están recubiertas con suberina y lignina, lo que impide que el agua se mueva a

través del apoplasto. Por lo tanto, el agua y los nutrientes deben atravesar las células de la endodermis para continuar su recorrido a través del simplasto hasta llegar a la estela. Este camino de transporte está regulado por proteínas de transporte con H⁺ ATP, lo que implica un gasto de energía. Este proceso aumenta la absorción en la membrana celular y permite que los nutrientes sigan su ruta hacia la estela (Peña, 2011).

Funciones del silicio

El silicio es transportado activamente dentro de la planta en forma similar al potasio, de ahí se traslada por el xilema y es distribuido hacia los brotes en crecimiento, allí este mineral forma cadenas de polímeros, lo que permite a la planta depositarlo en forma de sólidos amorfos, que es incorporado a las paredes celulares.

El silicio estimula la síntesis de compuestos orgánicos defensivos en las plantas es decir si la planta está siendo atacada por alguna enfermedad y/o insecto, envía mensajes químicos hacia afuera disparando las defensas naturales (Kessler, 2014).

Se han comprobado ventajas adicionales para diversas especies de plantas, tanto en sistemas de cultivo hidropónico como en métodos tradicionales en suelos. Este hecho se evidencia cuando las plantas se encuentran en situaciones desfavorables, enfrentando desafíos tanto de origen no biológico como biológico (Urrestarazu et al.,2016). Las propiedades preventivas del silicio se originan a partir de mecanismos defensivos tanto activos como pasivos (Silva, 2021).

Dentro de los beneficios que brinda el silicio a las plantas destacan:

- El silicio optimiza la distribución de nutrientes al favorecer la presencia adecuada de fósforo en situaciones de carencia y limitar su exceso cuando está presente en abundancia y también intensifica la captación de potasio, nitrógeno y calcio. (Silva, 2021).

- Aumentar la capacidad de resistencia al estrés causado por la falta de agua y la salinidad se consigue a través de diversas medidas. Esto incluye un aumento en la actividad de enzimas con propiedades antioxidantes, Disminuye la permeabilidad de las membranas y la pérdida de agua por transpiración a través de la capa superficial de la planta, además de optimizar el equilibrio de humedad en la misma. Si hay un exceso de sodio, el silicio actúa disminuyendo su absorción, Esto nos habilita para emplear aguas de baja calidad sin que ello perjudique la productividad de los cultivos.
- El silicio limita la absorción de metales en exceso, tales como cadmio, hierro, manganeso, cobre, zinc, arsénico y aluminio. Esto contribuye a disminuir los efectos causados por la toxicidad de estos elementos metálicos (Kleiber, 2014).

Distribución y translocación del silicio

La distribución de los nutrientes dentro de las plantas varía debido a su movilidad. Algunos elementos como el N, P, K y Mg son móviles y se desplazan acropetalmente (a través del xilema) y basipetalmente (a través del floema). Por otro lado, elementos como el Ca y S son menos móviles y se desplazan únicamente de forma basipetal (a través del floema) (Pozo, 2021).

Adicionalmente, se menciona que el Si se absorbe junto con el agua de la solución del suelo y esto facilita su transporte a través del xilema. Cuando las raíces absorben este elemento, es transportado hacia la parte aérea de la planta, donde se deposita en los tejidos en forma de Silicio amorfo hidratado. (Castellanos et al., 2015).

En la planta, el Silicio no muestra una gran diferencia en la absorción y distribución con respecto a los demás elementos. Sin embargo, una vez que se acumula como mineral silíceo con el agua, su translocación dentro de la planta está fuertemente influenciada por el flujo de la transpiración (Bent, 2008).

2.2.14. Silicio en la solución nutritiva

A pesar que el silicio no está dentro de los 16 nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer y desarrollarse, se ha comprobado que el silicio es lo mejor que se le puede agregar a la solución nutritiva, las plantas cultivadas en hidroponía con soluciones que contienen silicio, muestran al realizar el análisis de tejido un incremento del 10% del peso seco (Kessler; 2014). Debido a que el silicio en las soluciones nutritivas se incorpora en las paredes celulares otorgando a las plantas tolerancia a altas temperaturas, una mayor resistencia a diferentes ataques de patógenos (hongos, bacterias e insectos), además de incrementar el tiempo de almacenaje post cosecha obteniendo un mayor peso fresco (Savvas et al., 2002).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

En el Taller de Investigación y Enseñanza de Cultivos Hidropónicos (TEICH) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, se llevó a cabo esta la investigación. Dicho taller se encuentra ubicado en el distrito La Cruz, departamento y provincia de Tumbes, en las coordenadas UTM 9603026.53 mS. 555 137.77 mE., a una altitud de 5 m.s.n.m.

3.2. Materiales:

3.2.1. Insumos:

a) Material genético

- ✓ Semillas de lechuga var, Caipiria
- ✓ Sales minerales a partir del Fertilizante Missouri que fue obtenido como Dióxido de Silicio
- ✓ Ingredientes inertes: Macroelementos, Materia orgánica, Microelementos, Oligosacáridos, Vitaminas entre otros.
- ✓ Macronutrientes y Micronutrientes
 - Carbono (C)
 - Hidrógeno (H)
 - Nitrógeno (N)
 - Fosforo (P)
 - Azufre (S)
 - Calcio (Ca),
 - Magnesio (Mg)
 - Potasio (K)
 - Boro (B)
 - Cloro (Cl)
 - Cobre (Cu)
 - Fierro (Fe)
 - Manganeso (Mn)
 - Molibdeno (Mo)
 - Zinc (Zn)

3.2.2. Materiales de campo

- ✓ Tanques de plástico de 500 litros de capacidad
- ✓ Componentes del sistema de riego
- ✓ Contenedores de madera
- ✓ Plástico de polietileno color negro de 8 micras de grosor
- ✓ Láminas de poliestireno
- ✓ Bandejas germinadoras

- ✓ Bandejas plásticas
- ✓ Aspersor manual
- ✓ Libreta de campo

3.3. METODOS

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada-experimental, lo que implica la cuantificación y manipulación de una variable independiente para obtener datos estadísticamente analizables sobre una variable dependiente (Veiga & Zimmerman, 2008).

En este estudio, se aplicó el Método experimental para observar el efecto del elemento no esencial silicio en el crecimiento y producción de lechuga en sistema hidropónico de raíz flotante. Se ensayaron tres concentraciones diferentes del silicio para analizar sus impactos. Este sistema permite que las raíces obtengan una mejor absorción de las sales minerales solubles en una forma balanceada y así los cultivos pueden contar con los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento y desarrollo. Además, en comparación con los cultivos en suelo, presentan mejores condiciones fitosanitarias, lo que ayuda a mejorar los desafíos relacionados con la disponibilidad de agua y la calidad del suelo (Pizarro et al., 2019).

3.3.2. Factor y Tratamientos en estudio

El factor de estudio estuvo constituido por las concentraciones de silicio, incorporados a la solución nutritiva. Los tratamientos se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Factor y tratamiento

Factor	Tratamiento	Clave
Concentraciones	1 ml/l de agua	T1
del fertilizante	1,5 ml/l de agua	T2
mineral con	2 ml/l de agua	T3
contenido de silicio	Testigo (sin silicio)	T0
silicio		

3.3.3 Aplicación del Silicio

La aplicación de las concentraciones de silicio al cultivo de lechuga se hizo extrayendo del fertilizante comercial (f c) "Missouri" que contiene un 30% de silicio y un 70% de ingredientes inertes de.1ml f.c/l de agua T1, de 1.5ml f.c/l de agua T2, de 2ml f.c/l de agua T3, y 0 ml f.c/l en testigo. Cada tratamiento se preparó por separado en recipientes de 2 litros.

La aplicación de silicio a los tratamientos se hizo de acuerdo con el diseño experimental en la etapa de trasplante definitivo del cultivo de raíz flotante.

3.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) con tres repeticiones y cuatro tratamientos. La unidad experimental consistió en una caja de madera de 1 m², revestida internamente con plástico de color negro de 8 micras de grosor. La información detallada del área experimental se encuentra en la tabla 2 y el croquis adjunto.

Para validar los datos de las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza (ANVA) y, para determinar las diferencias entre las medias, se aplicó la prueba estadística de Duncan al 5% de probabilidad. Todo este proceso se llevó a cabo utilizando el software MICROSOFT EXCEL 2016 (Bustos et al., 2008).

Características del área experimental

Densidad poblacional	300 plantas
Dimensiones de la unidad experimental (caja de madera)	1,0 x 1,0 m
Distancia entre las unidades experimentales	0,50 m
Distancia entre plantas	0,20 m
Distancia entre bloques	0,50 m
Distancia entre tratamientos	1,0 m
Número de plantas por tratamiento	25
Número de repeticiones	3
Número de tratamientos	4
Número de unidades experimentales	12
Área total del ensayo	50 m ²
Área neta del ensayo	12,0 m ²

3.3.5. Variables y métodos de evaluación

La evaluación tuvo lugar al momento de la cosecha, que se llevó a cabo a los 45 días. En cada repetición y tratamiento, se seleccionaron aleatoriamente cinco plantas para registrar las siguientes variables:

a) Altura de planta

La medición de esta variable se efectuó utilizando un flexómetro, que es una cinta métrica metálica flexible. Se midió desde el cuello de la planta hasta su punto más alto, y los resultados se expresaron en centímetros (cm).

b) Número de hojas por planta

Se procedió a contar el número de hojas de cada planta y posteriormente se calculó el promedio.

c) Longitud de la raíz

Utilizando el flexómetro, se llevó a cabo la medición desde el cuello anatómico de la planta hasta la punta de la raíz en las mismas plantas evaluadas en los puntos anteriores.

d) Biomasa fresca y seca de la parte aérea y raíz

De cada planta seleccionada por repetición, se realizó un corte transversal para dividir las en parte aérea y radical. Luego, se pesaron utilizando una balanza analítica de marca OMEGA. Posteriormente, estas muestras se colocaron en bolsas de papel Kraf y se introdujeron en una estufa de aire caliente forzado de marca MEMMERT, que estaba programada a una temperatura de 80°C durante 3 días hasta que alcanzaron un peso constante. Después de este período, se volvieron a pesar las muestras y los resultados se expresaron en gramos.

e) Rendimiento

Se estableció la unidad experimental utilizando un área de 1 m², considerando tanto el peso de la biomasa fresca de las plantas como su cantidad.

3.3.6. Conducción del experimento

3.3.6.1. Instalación del almácigo

a) Preparación de cama de germinación

Se prepararon dos cajas con dimensiones de 0,60 m x 0,60 m x 0,15 m, forradas internamente con láminas de plástico negro de 8 micras de grosor. Dentro de estas cajas, se colocó el sustrato inerte, que consistió en arena gruesa de cantera previamente lavada y desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 1%.

b) Siembra de semillas

En el sustrato lavado, desinfectado y nivelado, se sembraron las semillas de lechuga de la variedad Caipiría. La siembra se realizó a un distanciamiento entre líneas de 5 cm y a una profundidad de 0,2 cm, utilizando un chorro continuo. Posteriormente, las semillas se cubrieron ligeramente con una capa de la misma arena.

c) Riego del almácigo

Cada día, se aplican riegos suaves utilizando un pulverizador manual, imitando una lluvia ligera. Este procedimiento tuvo como objetivo estimular la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de las plántulas. Inicialmente, se utilizó agua potable para regar durante los primeros días de establecimiento del semillero. Una vez que aparecieron las primeras

hojas verdaderas, se empleó una solución nutritiva comercial proveniente de la Universidad Agraria La Molina.

d) Formulación y preparación de la solución nutritiva

La solución nutritiva se preparó, tomando como base la solución comercial de la Universidad Nacional Agraria La Molina), tal como se detalla en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6 Se tuvo en cuenta las cantidades de nutrientes que aporta el agua potable.

Tabla 2. Concentraciones óptimas de los elementos esenciales en la solución nutritiva.

Peso atómico	Elemento	Rango	UNALM
14	N	150 – 250 ppm	190,00 ppm
31	P	30 – 50 ppm	35,00 ppm
39	K	200 – 300 ppm	210,00 ppm
40	Ca	120 – 200 ppm	150,00 ppm
24	Mg	20 – 50 ppm	45,00 ppm
32	S	50 – 100 ppm	70,00 ppm
56	Fe	0,5 – 2,0 ppm	1,00 ppm
55	Mn	0,5 – 0,8 ppm	0,50 ppm
11	B	0,3 – 0,6 ppm	c0,50 ppm
65,5	Zn	0,1 – 0,3 ppm	0,15 ppm
63,5	Cu	0,05 – 0,15 ppm	0,10 ppm
96	Mo	0,01 – 0,05 ppm	0,05 ppm

Tabla 3. Formulación de la solución nutritiva “A”. Volumen final concentrado a 5 litros de agua.

Fuente de fertilizante	Peso (g)
Nitrato de potasio (13.5% N, 45% K ₂ O)	557,00
Nitrato de amonio (33% N)	125,00
Superfosfato triple (45% P ₂ O ₅ , 20% CaO)	180,00

Tabla 4. Formulación de la solución nutritiva “B”. Volumen final concentrado a 2 litros de agua.

Fuente de fertilizante	Peso (g)
Sulfato de magnesio (16% MgO, 13% S)	448,00
Quelato de hierro (6% Fe)	17,00
Solución de Micronutrientes	400 ml

Tabla 5. Formulación de la solución micronutrientes. Volumen final concentrado a 2 litros de agua.

Fuente de fertilizante	Peso (g)
Sulfato de manganeso ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$)	5,00
Ácido bórico (H_3BO_3)	6,70
Sulfato de zinc ($Zn SO_4 \cdot 7H_2O$)	1,70
Sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	1,00
Molibdato de amonio $(NH_4)_6 Mo_7O_{24}$	0,20

Tabla 6. Formulación de la solución nutritiva concentrada “C”. Volumen final concentrado a 2 litros de agua.

Fertilizante	Peso (g)
Nitrato de calcio	737,0

e) Preparación de camas para trasplantes

Se prepararon cajas de madera con dimensiones de 1.00 m x 1.00 m x 0.15 m, forradas internamente con láminas de plástico negro de 8 micras de grosor. Dentro de estas cajas, se colocó el agua potable más las Soluciones aplicar.

f) Primer trasplante

El primer trasplante se realizó a los 15 días de haber realizado el almácigo, y para dicho proceso se hizo inundación del almácigo con agua potable (facilitar la extracción manual de las plántulas) Estas plántulas fueron transferidas a los agujeros realizados en las láminas de poliestireno de 1" de espesor que estaban encima de las cajas de madera que contenían la solución nutritiva en el agua, las plántulas estaban y sujetadas con tiras de espuma de poliuretano de ½.

g) Trasplante al sistema hidropónico de raíz flotante

Quince días del primer trasplante del cultivo de *Latuca sativa*, Cuando las plantas alcanzaron un promedio de 6 hojas, fueron colocadas en vasos plásticos de 3 onzas preparados con agujeros sujetos con una tira de espuma, los cuales se colocaron en las láminas de poliestireno de 1" a una distancia de 20 cm entre plantas, Estas laminas se colocaron encima de las cajas de madera que contenían la solución nutritiva más las concentraciones de silicio que se aplicaron en cada tratamiento para este trabajo de investigación

h) Oxigenación

La oxigenación se realizó en cada unidad experimental para lo cual se utilizó un sistema automatizado Blower programado con un timer, con una programación de cada 60 minutos

i) Control fitosanitario

Para identificar de existencia de plagas de insectos y microorganismos patógenos en el cultivo de *Latuca sativa*, se realizaron seguimientos regulares y continuos. Se implementó el manejo preventivo mediante el uso de trampas diseñadas a partir de materiales como madera y plástico de tonalidad amarilla, recubiertas con un adhesivo entomológico.

j) Cosecha de plantas y toma de datos

Se realizó de forma manual cuando las plántulas alcanzaron la madurez comercial (45 días), momento en el cual se registraron los valores obtenidos de la medición de variables evaluadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Características morfológicas

4.1.1. Altura de planta de lechuga

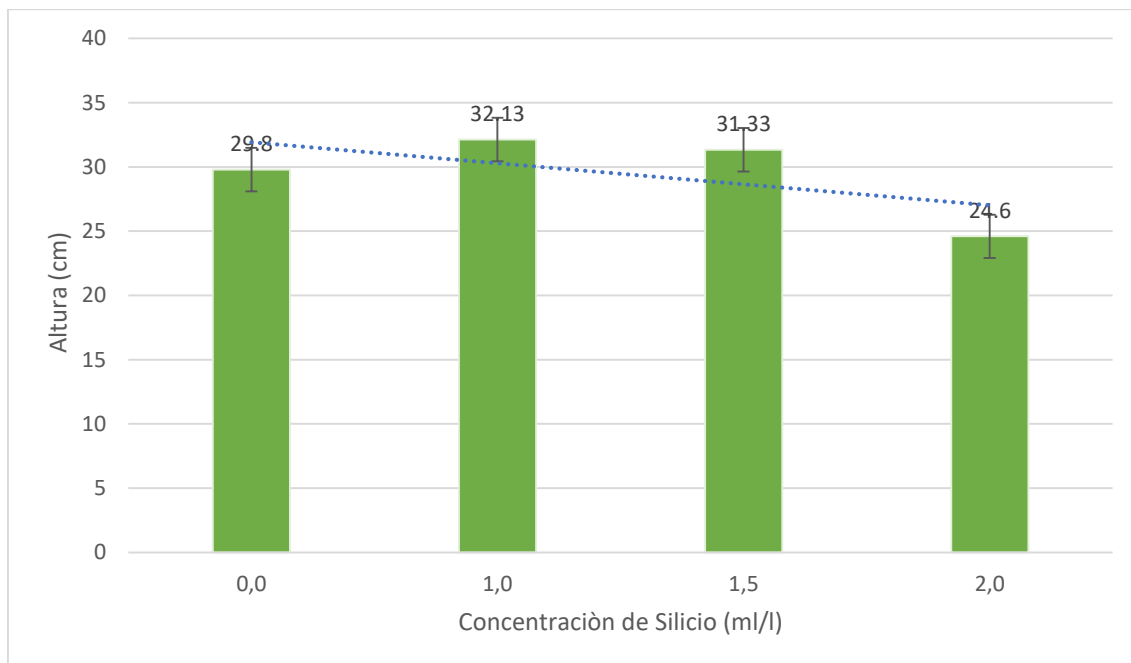
Las plantas de lechugas de la variedad caipiria tratadas con las concentraciones de silicio 1,0 ml/l y 1,5 ml/l incrementaron ligeramente su tamaño en un 5 a 8%, con respecto al testigo (Fig. 1). Sin embargo, el análisis estadístico mediante la prueba de Duncan (5%) no muestra significancia entre estos tratamientos, pero si con respecto a la concentración 2,0 ml/l (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la altura de plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (cm)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1 ml/l	30,6	34,2	31,6	32,13	A
T2	1,5 ml/l	29,8	33,4	30,8	31,33	A
T0	Testigo	28,2	28,4	32,8	29,80	A
T3	2,0 ml/l	23,6	23,0	27,2	24,60	B
Fb = 1,67		Ft = 8,53		C.V = 6,81%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

Figura 1. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre la altura de planta de lechuga cultivada en sistema hidropónico de raíz flotante.



4.1.2. N3mero de hojas por planta

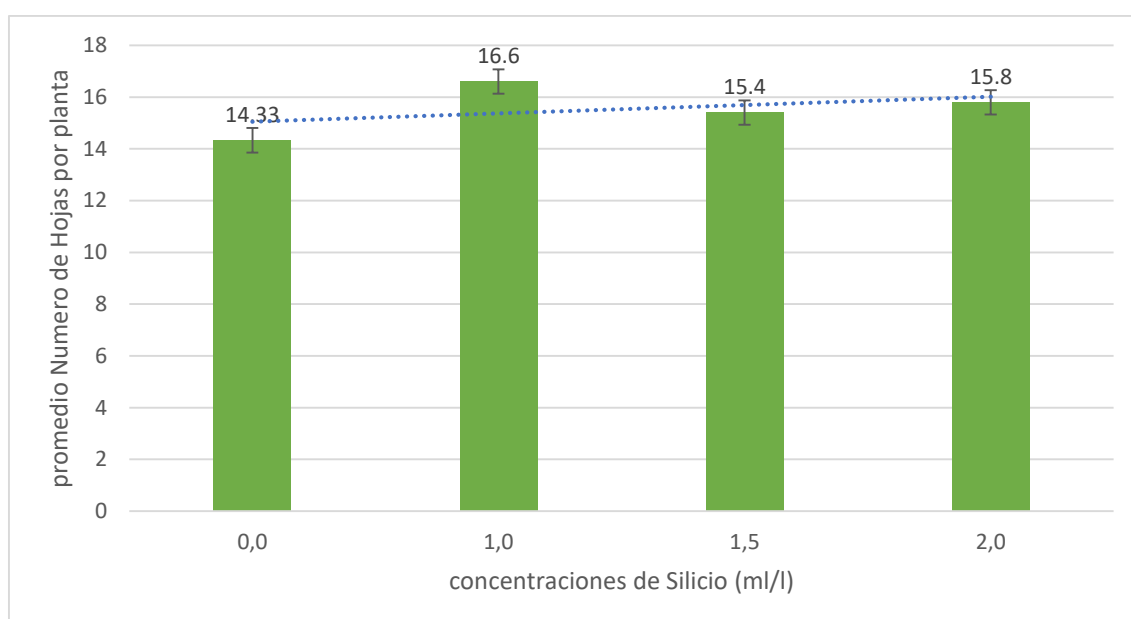
Estos resultados indican que las concentraciones de silicio ensayadas superaron al testigo (sin aplicaci3n de silicio); obteni3ndose el mayor n3mero de hojas por planta con la concentraci3n 1,0 ml/l (Fig. 2); No obstante, el an3lisis estadístico realizado con la prueba de Duncan al 5% indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre el número de hojas en plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1 ml/l	15,6	18,0	16,2	16,6	A
T3	2,0 ml/l	16,0	15,2	16,2	15,8	A
T2	1,5 ml/l	15,8	16,0	14,4	15,4	A
T0	Testigo	16,6	13,4	13,0	14,3	A
Fb = 0,64		Ft = 1,49		C.V = 8,597%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

Figura 2. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre el número de hojas de planta de lechuga cultivada en sistema hidropónico de raíz flotante.



4.1.3. Longitud de la raíz

En la figura 3, se puede observar de silicio en concentraciones de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l tuvieron la mayor longitud de raíces, mostrando una diferencia estadística significativa con respecto a la concentración 2,0 ml/l, pero no con el testigo.

Tabla 9. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la longitud de raíz en plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (cm)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T2	1,5 ml/l	28,2	39,6	33,0	33,6	A
T1	1,0 ml/l	35,4	35,0	27,4	32,6	A
T0	Testigo	25,0	32,8	36,4	31,4	A
T3	2,0 ml/l	17,2	1,6	27,0	20,93	B
Fb = 1,09		Ft = 3,67		C.V = 7,59%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

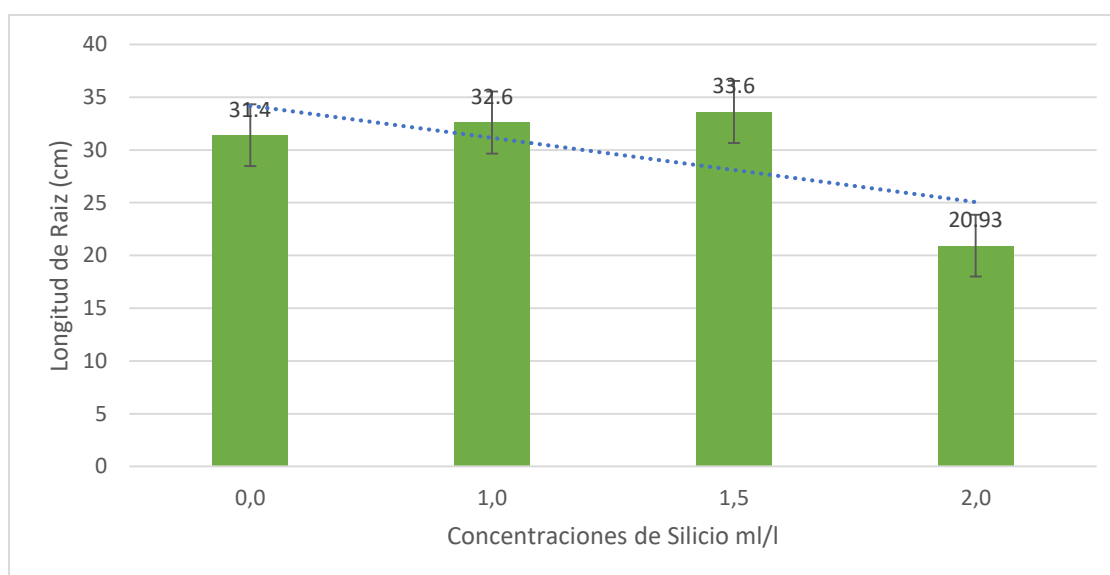


Figura 3. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre la longitud de raíz de plantas de lechuga cultivada en sistema hidropónico de raíz flotante.

4.1.4. Biomasa fresca de la parte aérea de plantas de lechuga

Las plantas de lechuga variedad caipiría tratadas con la concentración de silicio 1,0 ml/ tuvieron la mayor cantidad de biomasa fresca de la parte aérea, con valores por encima del 20% con los otros tratamientos (Fig. 4). La prueba estadística de Duncan (5%) indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos.

Tabla 10. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la biomasa fresca de la parte aérea en plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (g)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1,0 ml/l	156,6	165,5	135,8	152,63	A
T2	1,5 ml/l	126,5	150,4	109,2	128,70	B
T0	Testigo	139,5	110,3	105,6	118,47	Bc
T3	2,0 ml/l	98,45	103,6	95,46	99,17	C
Fb = 3,27		Ft = 9,19		C.V = 10,19%		Sign. **

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

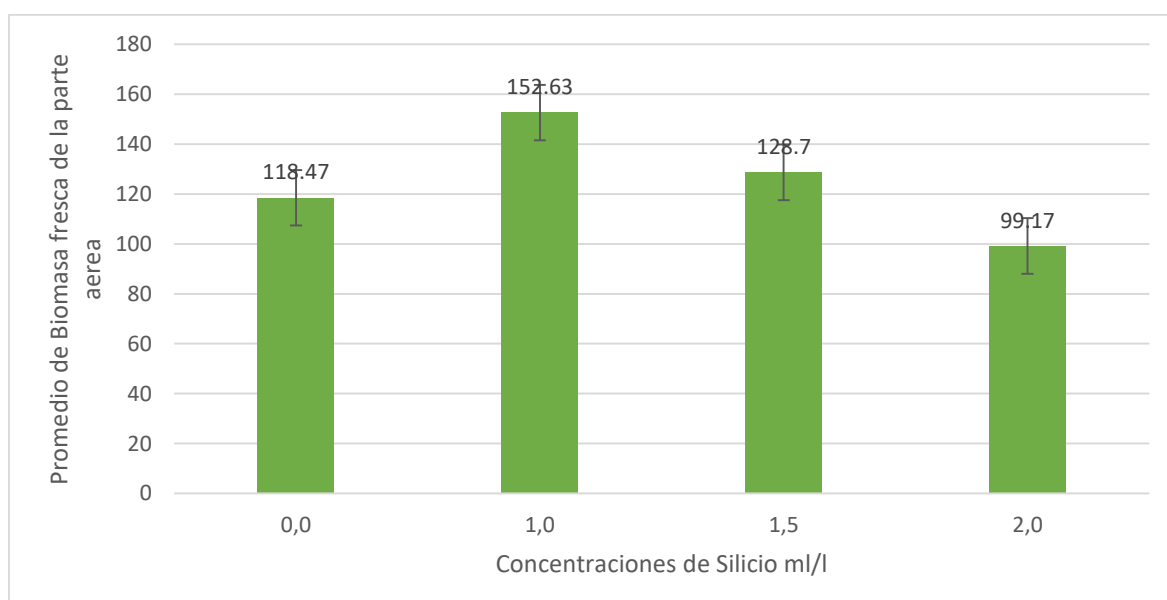


Figura 4. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre la biomasa fresca de la parte aérea de plantas de lechuga cultivadas en sistema hidropónico de raíz flotante.

4.1.5. Biomasa fresca de la raíz

En la figura 5, podemos observar que la aplicación de silicio en las concentraciones ensayadas favoreció el aumento de la biomasa fresca de las raíces de plantas de lechuga variedad caipiria; aunque, no hubo diferencias estadísticas entre estos tratamientos, pero si con el testigo.

Tabla 11. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la biomasa fresca de la raíz en plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (g)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T2	1,5 ml/l	11,8	12,6	11,4	11,9	A
T1	1,0 ml/l	8,6	9,6	13,4	10,5	A
T3	2,0 ml/l	4,0	8,6	12,2	8,3	A
T0	Testigo	7,4	6,2	8,0	6,8	B
Fb = 1,81		Ft = 3,15		C.V = 6,81%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

4.1.6. Biomasa seca de la parte aérea de plantas de lechuga

Las plantas de lechugas de la variedad caipiria tratadas con silicio en la concentración 1,0 ml/l tuvo la mayor biomasa seca de la parte aérea en relación con las demás concentraciones de silicio y el testigo (Fig. 6). La prueba estadística de Duncan (5%) muestra diferencias altamente significativas entre la concentración 1,0 ml/l con los tratamientos 2,0 ml/l y el testigo; pero no con la concentración 1,5 ml/l.

Tabla 12. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la biomasa seca de la parte aérea de plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (g)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1.0 ml/l	17,8	18,5	13,6	16,63	a
T2	1.5 ml/l	9,2	8,7	19,1	12,33	ab
T3	2.0 ml/l	4,6	6,8	13,0	8,13	b
T0	Testigo	8,5	7,6	8,1	8,07	b
Fb = 0,91		Ft = 3,22		C.V = 11,86%		Sign. **

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

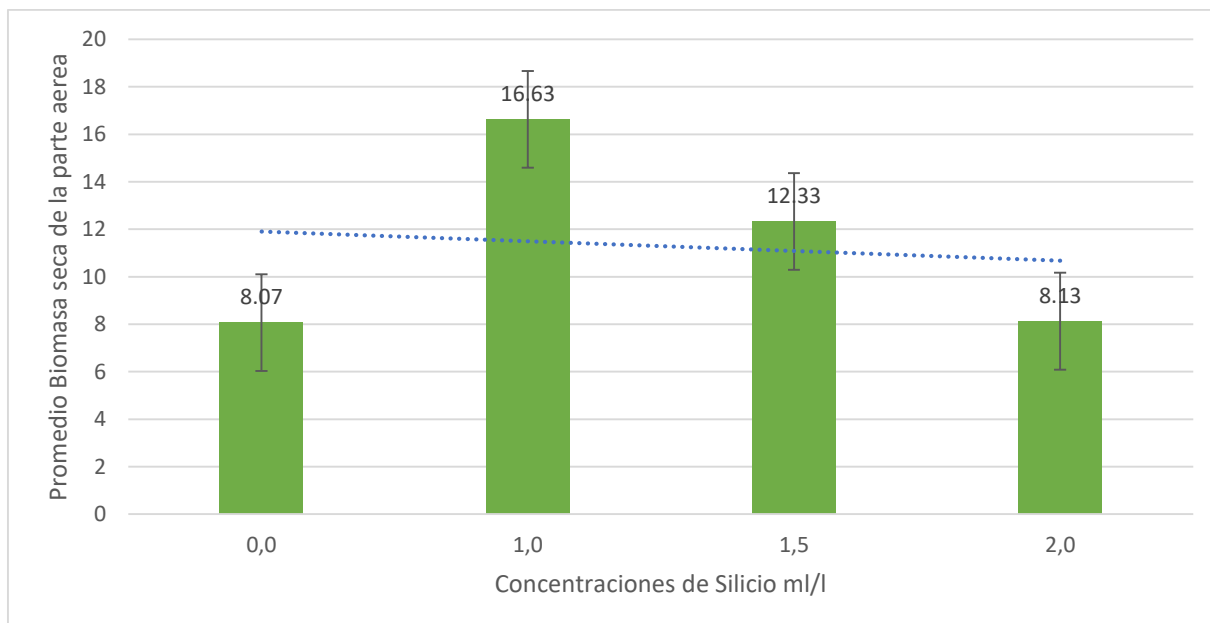


Figura 5. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre la biomasa seca de la parte aérea de plantas de lechuga cultivadas en sistema hidropónico de raíz flotante.

4.1.7. Biomasa seca de la raíz

En la figura 8, se aprecia que las concentraciones de silicio 1,0 ml/l y 1,5 ml/l presentaron en la mayor cantidad de biomasa seca de las raíces de las plantas de lechuga variedad caipiría; aunque, no hubo diferencias estadísticas entre estos tratamientos, pero sí con la concentración 2,0 ml/l y el testigo.

Tabla 13. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre la biomasa seca de la raíz de plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (g)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1.0 ml/l	0,95	3,5	3,2	2,55	a
T2	1.5 ml/l	3,1	0,95	2,1	2,05	a
T3	2.0 ml/l	0,35	0,74	3,0	1,36	b
T0	Testigo	0,86	0,7	0,75	0,77	b
Fb = 0,75		Ft = 1,32		C.V = 9,63%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

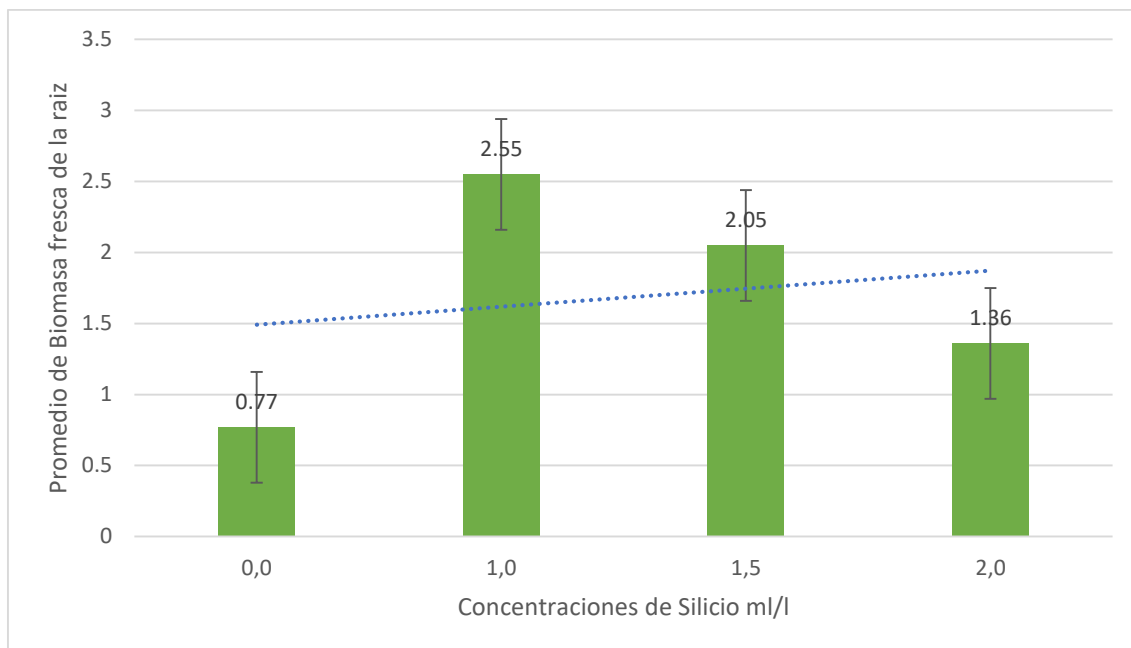


Figura 6. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre la biomasa seca de la raíz de plantas de lechuga cultivadas en sistema hidropónico de raíz flotante.

4.2. Rendimiento

El mayor rendimiento en las plantas de lechugas de la variedad caipiria se obtuvo con las concentraciones de silicio 1,0 ml/l y 1,5 ml/l (Fig. 8), estadísticamente no se encontró diferencias significativas entre estos dos tratamientos, pero si con la concentración 2,0 ml/l y el testigo.

Tabla 14. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de tres concentraciones de silicio, sobre el rendimiento de plantas de Lechuga hidropónica.

Código	Tratamiento	Bloques			Promedio (kg/m ²)	Duncan (0,05)
		I	II	III		
T1	1.0 ml/l	2,45	2,79	2,45	2,56	a
T2	1.5 ml/l	2,29	2,53	2,13	2,32	a
T3	2.0 ml/l	1,16	1,76	2,9	1,94	b
T0	Testigo	2,25	1,59	1,91	1,92	b
Fb = 0,33		Ft = 1,00		C.V = 10,68%		Sign. *

*Letras iguales indican promedios estadísticamente similares

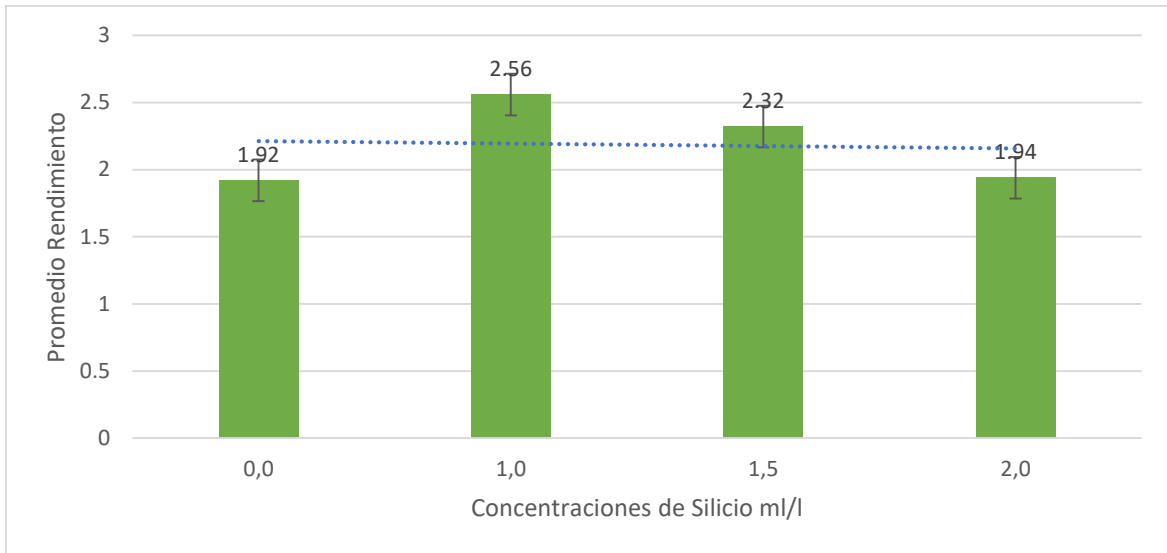


Figura 7. Efecto de tres concentraciones de silicio sobre el rendimiento de plantas de lechuga cultivadas en sistema hidropónico de raíz flotante.

CAPÍTULO V

DISCUSION

Aunque el silicio no se considera un mineral esencial para las plantas, la adición de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l de silicio a las soluciones nutritivas resultó en una mejora tanto en las características morfológicas como en el rendimiento de las plantas de lechuga en el sistema hidropónico de raíz flotante, varios estudios han demostrado que tiene ciertos beneficios en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y resistencia a insectos plaga y patógenos de los vegetales (Fawe et al., 2001; Patrícia Vieira da Cunha, 2008; Matichenkov et al., 2008; Alhousari y Greger, 2018; Furcal-Beriguete, 2012; Pilay, 2022; INTAGRI, 2022).

Corzo (2013), en un estudio sobre fertilización con silicio en palmas aceiteras, encontró un incremento en la altura de la planta y el número de hojas verdes en relación con las palmas en que no se realizó la fertilización; estos resultados también se obtuvieron en nuestro estudio.

En cuanto a las variables, biomasa fresca y seca de la parte aérea y radical de las plantas de lechuga, encontramos un aumento de su peso cuando se agregó silicio en las concentraciones de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l a la solución nutritiva. Similares resultados, han sido reportados por Cázarez-Flores et al, (2023) en un ensayo realizado en cultivos de tomate y pimiento a nivel de invernadero, usando concentraciones de 20, 30 y 50 mg L⁻¹. Sin embargo, un experimento realizado por Pozo (2021), cuyo objetivo fue, evaluar la producción de biomasa y composición nutricional del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*), mediante la aplicación de silicio, encontró los mejores resultados con la solución nutritiva (Testigo), seguida por las concentraciones de silicio ensayadas. Las diferencias en los resultados encontrados con otros estudios, demuestran que las respuestas de las plantas están en función de múltiples factores como son: especie vegetal, clima, condiciones de crecimiento, manejo del cultivo, concentración de silicio, entre otros.

En lo que respecta al rendimiento, obtuvimos que el silicio mejora las características productivas (kg/m²) de la lechuga variedad caipiria, siendo la

concentración 1ml/l con la que se alcanzó el mayor valor. Algunas investigaciones también muestran resultados positivos del silicio con respecto a esta variable. Pilay (2022), en un experimento realizado con pimiento en condiciones controladas aplicando tres concentraciones de silicio (10, 12 y 14 g) concluyó que con 1 g de este elemento se favorece el crecimiento y rendimiento. Asimismo, Muñoz (2019), informa que la aplicación en las hojas de 500 ml/ha de Promet Ca junto con 1000 ml/ha de Viosil (una fuente de silicio) demostró ser la concentración más efectiva para lograr un aumento en la producción de la variedad de lechuga Great Lakes 659.

La aplicación de 2,0 ml/l de silicio a la solución nutritiva no mejoró las características morfológicas ni el rendimiento de las lechugas, lo cual podría deberse que esta concentración estaría en exceso. Su acumulación en las paredes de las células epidérmicas (Exley, 2015) podrían reducir la transpiración de las plantas y con ella la menor absorción de agua y nutrientes y por ende un menor crecimiento y desarrollo de ellas.

Según lo mencionado por Gómez (2011), el papel estimulante del silicio podría influir positivamente en la mejora de los procesos fisiológicos de las plantas, con lo cual, al favorecer el crecimiento y la biomasa, se beneficia el componente de rendimiento. Por otro lado, un mayor contenido de silicio en las hojas favorece la concentración de osmolitos, provocando menores valores de potencial hídrico, lo que permite una mayor absorción de agua y nutrientes por los tejidos, incluyendo las raíces (Cabezas et al, 2022).

El color verde intenso observado en las hojas de lechuga, estaría siendo influenciado por el silicio, debido a que este elemento incrementa la concentración de pigmentos fotosintéticos, produciendo un aumento de la actividad fotosintética (Jesús et al., 2018).

Es importante señalar, que este ensayo permite una mayor comprensión del papel que desempeña el silicio en el crecimiento y desarrollo de plantas cultivadas en hidroponía. No obstante, se requiere necesario seguir realizando investigaciones sobre el comportamiento bioquímico y fisiológico de este elemento en otros sistemas de producción utilizando distintas fuentes y dosis.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l condujeron a mejoras significativas en las características morfológicas (como la altura de la planta, longitud de la raíz, biomasa fresca de las hojas y las raíces, así como la biomasa seca de las hojas y las raíces) de las plantas de lechuga cultivadas en el sistema hidropónico de raíz flotante, la concentración de 2 ml/l provocó una disminución en las características morfológicas mencionadas

2. La fertilización con silicio tuvo efecto positivo en las variables de crecimiento Con incrementos del 30% y 20%, respectivamente, las concentraciones de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l proporcionaron el mayor rendimiento en kg/m².

3. Las concentraciones más favorables y adecuadas para la producción de *Latuca sativa* fueron las concentraciones de 1,0 ml/l y 1,5 ml/l, La incorporación del silicio a las soluciones hidropónicas contribuyó a un crecimiento favorable de las plantas de lechuga, tal como lo muestran los resultados.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1. Es fundamental realizar análisis periódico de la cantidad de minerales en la solución nutritiva, incluyendo el silicio para garantizar que sean suficientes para el crecimiento y desarrollo óptimo de la lechuga variedad. Caipiria.
2. Realizar ensayos en otras variedades de lechuga para determinar si los efectos del silicio son similares y, en caso contrario, ajustar la dosis y las condiciones de cultivo en consecuencia.
3. Evaluar el crecimiento y producción de lechuga en relación con las condiciones ambientales del Módulo hidropónico, mediante la realización de experimentos similares en distintas épocas del año.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1er Simposio Internacional Beneficios del Silicio en la Agricultura. (2014, septiembre 4). Issuu. https://issuu.com/agromil/docs/memorias_silicio

A y K. Ya. Biel., Matichenkov, V V , Bocharnikova, E A , Kosobryukhov, A. (2018). Mobile forms of silicon in plants. *Doklady Biological Sciences.* , 418, 39-40.

Aguilar Noruega, X. H. (2014). Situación socio ambiental relacionada al acceso, manejo y uso del agua de la parte baja de la Subcuenca Río Malacatoya, Granada, Nicaragua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).

Alonso Peña, J. R. (2011). *Manual de histología vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa.

Alveal Concha, M. A., & Campos González, K. D. C. (2014) Estudio comparativo de sistemas de riego hidropónico y por goteo [Tesis de pregrado, Universidad del Bio-Bio]. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/797>

Andrade Guevara, R. E. (2022). *Sistema autónomo de control y supervisión de condiciones nutricionales del agua mediante una red de sensores y algoritmos de aprendizaje supervisado para el regadío en cultivo de espinaca bajo condiciones de hidroponía NFT vertical* (Bachelor's thesis).

Arévalo Castro, T. J. (2017). *Respuesta del cultivo de arroz Oriza sativa L. a dos fuentes y dos dosis de silicio orgánico* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

Arias, S. (2009). Manual de Producción de lechuga. Cuenta del Desafío del Milenio de Honduras.

Astudillo Erazo, Y. S., & Barreiro Gaviria, S. (2021) Evaluar el cultivo hidropónico en dos métodos de producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en crecimiento homogéneo y ataque de insectos en cobertizo total y otro parcial en la vereda

monte bonito municipio de Pitalito [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42547>

Ávila, C. J., de Quito, M., & van Veenhuizen, E. R. (2003). Agricultura urbana. <https://ruaf.org/assets/2020/01/RAU7.pdf>

Bent, E. 2008. Ácido silícico. Cultivar de acuerdo con la naturaleza Parte I- II. Bérghamo. Italia. Pág. 6-15. Recuperado en: www.hortcom.files.wordpress.com.

Bustos, A., Caicedo, D. R., & Cantor, F. (2008). ANDEVA para diseño completamente al azar (DCA). *Revista Facultad de ciencias básicas*, 4(1-2), 143-148.

Cabezas, G. A., Camus, A. F., & F. y Mazuela A. P., E. C. W. G. V. A. (2022). El silicio (Si) y su efecto mitigador del estrés salino en cultivos hortícolas. *IDESIA (Chile)*, 40(1), 129-133.

Cámara de comercio de Bogotá. (2015). Manual de Lechuga. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14316>

Castañeda, F., Valverde, C. D., & García, L. (1997). Manual de cultivos hidropónicos populares: producción de verduras sin usar la tierra. In Manual de cultivos hidropónicos populares: producción de verduras sin usar la tierra (pp. 32-32).

Castañeda Alarcon, M. L. (2019). Evaluación de la actividad fotoprotectora in vitro y efecto fotoprotector in vivo de una formulación a base de extracto acuoso liofilizado de *Lepidium meyenii* (Maca).

Castellanos González, L., de Mello Prado, R., & Silva Campos, C. N. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos tropicales*, 36, 16–24. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002

Cázarez-Flores, L.LI. (2023). Plántulas de pepino y tomate fortificadas con silicio y cloro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (14):1

Corpoica. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño. <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20>

Cruz Celis, F. D. J., & Montiel Campos, H. (2010). La hidroponía como proyectos emprendedores de tecnología aplicada para dar sustentabilidad a la agricultura urbana.

Cuastumal, H. G., Ledesma, M. A., & Ordoñez, L. E. (2016). Vitamina C y color superficial en tomate y pimentón verde efecto de los tratamientos térmicos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(20), 32-36.

Currie, H. Y Perry, C. (2007). Silicio en plantas: estudios biológicos, bioquímicos y químicos". *Botánica*, vol. 100, no. 7. Pp. 1383-1389.

De Souza Lemos Neto, H., de Almeida Guimaraes, M., Sampaio, I. M. G., da Silva Rabelo, J., dos Santos Viana, C., & Mesquita, R. O. (2020). Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce?. *Australian Journal of Crop Science*, 14(1), 71-77.

Delaferia (11 mayo de 2018). Silicio y la hidroponía [mensaje en un blog]. Deleferia Distribución. <https://www.delaferia.cl/blogs/noticias/silicio-y-la-hidroponia>, Departamento técnico. N°028. Zaragoza, España. 8 pp.

Escuderos, Y., Gálvez, L., Garrido, M., Muñoz, D., Romero, E., Stoute, K., . . . Sevillano, F. (17 de 04 de 2017). Cultivo Hidropónico.

Exley, C. (2015). A possible mechanism of biological silicification in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6:853. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00853>

Fawe, A., Menzies, J. G., Chérif, M., & Bélanger, R. R. (2001). Chapter 9 Silicon and disease resistance in dicotyledons. En L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (Eds.), *Silicon in Agriculture* (Vol. 8, pp. 159–169). Elsevier.

Furcal-Beriguete, P. (2012). Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477. <https://hdl.handle.net/2238/285>

Furcal-Beriguete, Parménides, & Herrera-Barrantes, Alejandra. (2013). Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 357-364. Retrieved May 29, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200013&lng=en&tlng=en

Gavilán, M. U., Vázquez, C. N., & Cedillo, V. M. G. (2016). Efectos del Silicio en Cultivos Hortícolas.

Gómez, N., Moreno, N. y Díez, M. (2011). El cultivo de la vainilla en Colombia. Cultivo de vainilla. En: F. Moreno y M. C. Díez, eds. *Contribuciones para el desarrollo de su cadena productiva en Colombia*. Editorial S. N.: Medellín. 8291 p.

Hidro Environment. (2019). Sistema de Raíz Flotante. Mexico. Recuperado de: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?Main_page=page&id=64

Hortiseed SRL. (Sin fecha), Hortiseed, Siembre confianza, lechuga regina 500. <http://www.hortiseedsrl.com/index.php/nuevos-lanzamientos/item/27-lechuga-regina-500>

Huanaco Ticona, M. A., & Rosas Allpan, M. A. (2020). Sistema hidropónico Nutrient Film Technique (NFT) para mejorar la productividad del cultivo de lechuga en la agricultura familiar en la ciudad de Arequipa.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Manual de producción de lechuga. Chile. Saavedra, G. Recuperado de: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/manualesdeproduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>

Intagri. (2022). Silicio para la Nutrición y Protección Vegetal. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/silicio-para-la-nutricion-y-proteccion-vegetal>

Jiménez Pérez, L. E. (2016). Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*). [Universidad católica de Santiago de guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5409/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-68.pdf>

Kessler, D. (22 de enero 2014). Los beneficios del silicio. Vivero villa Mónica – hidroponía. <https://viverovillamonica.blogspot.com/>

Kleiber, T. (2014). El efecto de la aplicación de silicio bajo una nutrición excesiva de Mn en el rendimiento de lechuga cultivada hidropónicamente (*Lactuca sativa* L.). *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna* , 19 (3), 219-226.

Lupinta Anco, D. J. (2016). Evaluación microbiológica de lechuga *Lactuca sativa* de consumo humano.

Mendoza Chumbe, G. (2022). Fenología y rendimiento de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L), bajo diferentes dosis de roca fosfórica, sector Rumi Chaca-Chachapoyas 2021.

Montana s.a, e. F. Y c. (2020, abril). Ficha técnica. Silicio montana. <https://www.corpmontana.com/wp-content/uploads/2019/03/ficha-t%c3%a9cnica-missouri.-2.pdf>

Muñoz, G.L. (2019). Fertilizantes foliares con contenido de sílice y calcio en la producción de lechuga variedad Great Lakes 659 en la provincia de Lamas. Tesis de Titulación. Universidad Nacional de San Martín, Perú.

Nascimento Silva, K. (2021). Influencia del silicio en la respuesta a estreses abióticos y bióticos en plantas leñosas.

North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox. (2023). *Lactuca sativa* (Butterhead, Butterheads, Cos, Head Lettuce, *Lactuca*, Leaf Lettuce, Lettuce, Lettuces, Romaine, Romaines) | Ncsu.edu. <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/lactuca-sativa/>

Patrícia Vieira da Cunha, K.; Williams Araújo do Nascimento, C. y José da Silva, A. (2008). “Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil”. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 71(6) pp. 849-853, ISSN 1522-2624, DOI 10.1002/ jpln.200800147.

Pozo Rosales, C. O. (2021). *Evaluación de la producción de biomasa y composición nutricional del forraje verde hidropónico Zea mayz frente a la*

aplicación de silicio, Si (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.).

Quiroga Silva, A. M. (2016). Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L) variedad modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa. [Tesis de pregrado, universidad de ciencias aplicadas y ambientales U.D.C.A]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/582>

Reyes-Blas, H., Olivas-Armendáriz, I., Martel-Estrada, S. A., & Valencia-Gómez, L. E. (2019). Uso de Biomateriales Funcionalizados con Moléculas Bioactivas en la Ingeniería Biomédica. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 40(3).

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). La contaminación del suelo: una realidad oculta.

Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, A. (2017). Manual de producción de lechuga. Obtenido de instituto de desarrollo agropecuario-institut de investigaciones agropecuarias INIA. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40978.pdf>

Savvas, D., Manos, G., Kotsiras, A., & Souvaliotis, S. (2002). Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. *Journal of Applied Botany*, 76(5/6), 153-158.

Sidmizu, T. Scott, G. 2014. Los Supermercados y Cambios En La Cadena Productiva Para La Papa En El Perú. *Revista Latinoamericana De La Papa*. Vol. 18 (1). 77-104.

Silva, v. M. (2017). El cultivo de las hortalizas. Cochabamba: proyecto jatun sach'a.

Soria, J.A. (2012). 6° curso de hidropónia básica para principiantes. Hidroponía y acuarística del Caribe. Recuperado de: http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_247_Curso%20Hidropon%C3%ada%20Basica.pdf

Urrestarazu, M., Nájera, C., & Gallegos, V. M. (2016). Efectos del silicio en cultivos hortícolas. *Nuestro campo*, 46, 19-23.

Vega, A. (2013). Efecto del Ácido Salicílico y Estrés Hídrico en la Calidad de Lechugas (*Lactuca Sativa L.*) Producidas en Invernadero. [Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma de Querétaro] <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/7020>

Veiga de Cabo, J., & Zimmermann Verdejo, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Medicina y seguridad del trabajo*, 54(210), 81-88.

Víctor Pizarro B. - Constanza Jana A.- Gonzalo Ibacache A. Cornelio Contreras S.- Luis Leris G.- Víctor Alfaro E.,(2019) Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): diseño, construcción y costos.

ANEXOS

Anexo 1.

FICHA TÉCNICA

VERSIÓN ABRIL 2020

Missouri®

FITOACTIVADOR DE RESISTENCIA

I. DATOS DE LA EMPRESA

Empresa Formuladora y Comercializadora: MONTANA S.A.
Av. Javier Prado Este 6210 Of. 401, La Molina, Lima, Perú

II. PROPIEDADES

MISSOURI es un fertilizante mineral con un alto contenido de Silicio proveniente de tierra diatomea que actúa como activador de la resistencia vegetal, cuyos componentes activos actúan de forma sinérgica para la protección física de los órganos de la planta contra el ataque de hongos e insectos y ante las diferentes situaciones de estrés como la falta de agua, el aumento de la radiación ultravioleta (UVa), la presencia de heridas (viento y granizo) y los cambios bruscos de temperatura.

MISSOURI contiene agentes acomplejantes de alta calidad, permitiendo que la adherencia de sus componentes sea de forma rápida y eficiente sobre la superficie de todos los órganos de la planta.

III. COMPOSICIÓN (p/v):

Silicio30 %
Ingredientes Inertes c.s.p. 1 L.

IV. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Aspecto: Líquido opaco
Formulación: Suspensión Concentrada
Densidad: 1.09 – 1.15 g/cm³
Color: Beige a verde claro
pH al 1%: 6 – 7

V. ROL DE LOS COMPONENTES

El Silicio es necesario para la protección y optimización del proceso de fotosíntesis, para el transporte y desbloqueo de nutrientes (fósforo) y para el control de la senescencia en las hojas.

VI. MODO DE ACCIÓN

El modo de acción del producto se logra de dos formas:

- Activando los procesos de lignificación, silicificación y engrosamiento de la epidermis para la formación de una barrera física sobre la superficie de la planta.
- Produciendo compuestos polifenólicos, enzimas y proteínas que permitan la inducción de mecanismos de defensa.

VII. VENTAJAS DEL PRODUCTO

- Compatible con agroquímicos.
- Alta estabilidad y persistencia en la planta.
- No causa fitotoxicidad a las dosis recomendadas.

VIII. RECOMENDACIONES DE USO

CULTIVO	DOSES (L/200L)	DOSES (L/ha)	OBSERVACIONES
Mandarina, Lima y Limón	0.5	3-5	Aplicar durante el brotamiento, floración, desarrollo de frutos y antes de la cosecha.
Palto, Mango y Manzano			Aplicar durante la prefloración, floración y crecimiento del fruto.
Uva de mesa			Aplicar durante el brotamiento, floración y crecimiento inicial de la baya (3-4mm).
Aarándanos	0.5 - 1	1 - 3	Aplicar durante el brotamiento, floración, crecimiento del fruto y antes de cosecha.
Fresa y Berries			Aplicar después de la apertura de los floclados y durante el desarrollo del segundo brote.
Espárrago			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha.
Alcachofa			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y desarrollo de los bulbos.
Cebolla y Ajo			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y desarrollo de los bulbos.
Páprika y Ajos	0.5 - 1	1 - 2	Aplicar durante el desarrollo vegetativo, floración y crecimiento del fruto.
Alveja y Frejol			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y después del aporqueo.
Zapallo y Sandía			Aplicar durante el macollamiento, punto de algodón y espigado.
Café, Cacao y Piña			Aplicar durante el desarrollo vegetativo de V4 a V7.
Papa			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha.
Arroz			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha.
Maíz			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha.
Hortalizas de Hoja			Aplicar durante el desarrollo vegetativo y antes de la cosecha.

IX. CONDICIONES DE APLICACIÓN

- Una vez premezclado el producto y vaciado en el tanque de aplicación, se deberá agregar la dosis correspondiente del producto, luego se debe agitar hasta conseguir una mezcla homogénea.
- Antes de usar o manipular el producto, debe leerse detenidamente toda la etiqueta y cumplir con las recomendaciones.



Av. Javier Prado Este 6210 Oficina 401 La Molina, Lima - Perú
Telf: (511) 419-3000 / e-mail: info@corpmontana.com
www.corpmontana.com

Anexo 2. Datos de Análisis de varianza de la Altura de planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	89,4	29,8	6,76
T1	3	96,4	32,13	3,45
T2	3	94,0	31,33	3,45
T3	3	73,8	24,6	5,16

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	103,17	3	34,39	8,53	0,01	*
Bloques	13,48	2	6,74	1,67	0,26	ns
Error	24,16	6	4,02			
Total	140,82	11				

*Se rechaza la hipótesis nula; Al nivel de significación al menos para un caso hay diferencias entre las medias

Anexo 3. Datos de Análisis de varianza de N° de hojas por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	43	14,33	3,89
T1	3	49,8	16,6	1,56
T2	3	46,2	15,4	0,76
T3	3	47,4	15,8	0,28

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
tratamientos	8	3	2,66	1,49	0,30 ns	4,75
Bloques	2,28	2	1,14	0,64	0,55 ns	5,14
Error	10,7	6	1,78			
Total	20,98	11				

*No hay diferencia Significativa entre los tratamientos

Anexo 4. Datos de Análisis de varianza de la Longitud de la Raíz (cm) por planta del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	94,2	31,4	33,96
T1	3	97,8	32,6	20,32
T2	3	100,8	33,6	32,76
T3	3	62,8	2,93	28,09

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
tratamientos	310,04	3	103,34	3,67	0,08 *	4,75
Bloques	61,40	2	30,70	1,09	0,39 ns	5,14
Error	168,86	6	28,14			
Total	540,30	11				

*A nivel de significación al menos para un caso hay diferencias entre las medias

Anexo 5. Datos de Análisis de varianza de la Biomasa fresca de la parte aérea por planta (g) del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	457,9	152,63	232,32
T1	3	386,1	128,7	427,99
T2	3	355,4	118,46	337,32
T3	3	297,51	99,17	16,9537

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	4460,69	3	1486,89	9,19	0,01 **	4,75
Bloques	1059,37	2	529,68	3,27	0,10 ns	5,14
Error	969,80	6	161,63			
Total	6489,87	11				

**Se rechaza la hipótesis nula; Al nivel de significación al menos para un caso hay diferencias entre las medias

Anexo 6. Datos de Análisis de varianza de la Biomasa fresca de la raíz por planta (g) del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	20,4	6,8	0,36
T1	3	31,6	10,53	6,41
T2	3	35,8	11,93	0,37
T3	3	24,8	8,26	16,89

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	47,23	3	15,74	3,15	0,10 ns	4,75
Bloques	18,10	2	9,05	1,81	0,24 ns	5,14
Error	29,97	6	4,99			
Total	95,31	11				

*No hay diferencia significativa entre los tratamientos

Anexo 7. Datos de Análisis de varianza de la Biomasa Seca de la parte aérea por planta (g) del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	24,2	8,06	0,20
T1	3	49,9	16,63	7,02
T2	3	37,0	12,33	34,40
T3	3	24,4	8,13	18,97

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	149,98	3	49,99	3,22	0,10 ns	4,75
Bloques	28,23	2	14,11	0,91	0,45 ns	5,14
Error	92,975	6	15,49			
Total	271,18	11				

*No hay diferencia significativa entre los tratamientos

Anexo 8. Datos de Análisis de varianza de la Biomasa Seca de la raíz por planta (g) del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	23,1	0,77	0,00
T1	3	7,65	2,55	1,94
T2	3	6,15	2,05	1,15
T3	3	4,09	1,36	2,04

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	5,46	3	1,82	1,32	0,03	*
Columnas	2,06	2	1,03	0,75	0,51	ns
Error	8,24	6	1,37			
Total	15,77	11				

*Se rechaza la hipótesis nula; Al nivel de significación al menos para un caso hay diferencias entre las medias

Anexo 9. Datos de Análisis de varianza del Rendimiento (Kg) del cultivo de lechuga cultivada en hidroponía en el sistema de Raíz Flotante en el Taller de investigación y enseñanza de cultivos hidropónicos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes 2023.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Testigo	3	5,745	1,91	0,10
T1	3	7,68	2,56	0,03
T2	3	6,945	2,31	0,03
T3	3	5,815	1,93	0,78

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Tratamientos	0,87	3	0,29	1,00	0,45	ns	4,75
Bloques	0,19	2	0,09	0,33	0,72	ns	5,14
Error	1,74	6	0,29				
Total	2,81	11					

* No hay diferencias Significativas

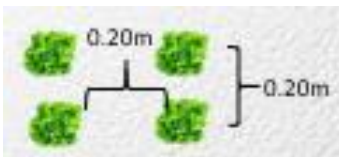
Anexo 9. Flujograma

Tendremos una Densidad poblacional 300 plantas

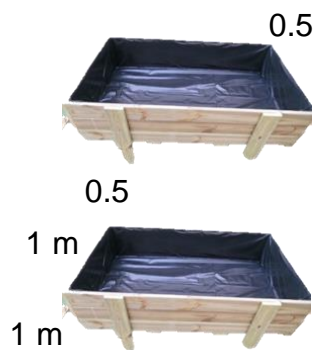


Dimensiones de la unidad experimental.

Dimensiones del ensayo
5.0 x 12.0 m

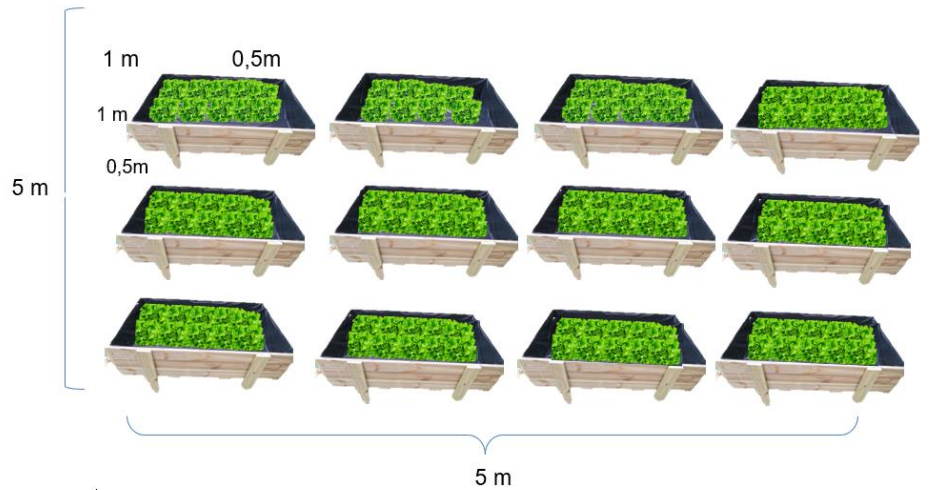


Distancia entre repeticiones
0.5 m



Distancia entre tratamientos 1.0 m

Longitud de las repeticiones
12.0 m



Área útil del ensayo: 12 m²

Área total del ensayo: 32.5 m²

Número de unidades
experimentales: 12

Número de tratamientos: 4

Número de repeticiones: 3

Número de plantas por
tratamiento: 25