UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

CONTENIDO DE PLOMO ABSORBIDO POR LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), CULTIVADA EN MEDIOS HIDROPÓNICOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO

Asesor:

M.Cs. DAVID RICARDO URIOL VALVERDE

Cajamarca, Perú

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

Escuela de Posgrado

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
   Edwin Rafael Ruiz Molocho
   DNI: 46795099
   Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: M.Cs. David Ricardo Uriol Valverde
3. Grado académico o título profesional
   ☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
   X Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
   X Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
   ☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:

   CONTENIDO DE PLOMO ABSORBIDO POR LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), CULTIVADA EN MEDIOS HIDROPÓNICOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO
6. Fecha de evaluación: **31/12/2024**
7. Software antiplagio: **X** TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) *(*)*
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **20 %**
9. Código Documento: **3117: 444541170**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
    X APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **31/03/2025**

Firmo y/o Sello Emisor Constancia

M.Cs. DAVID RICARDO URIOL VALVERDE
DNI: 26717317

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO
Todos los derechos reservados

Universidad Nacional de Cajamarca

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DECONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las ..11.00 horas, del día 12 de febrero del dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el, ***Dr. JUAN EDMUNDO CHÁVEZ RABANAL, Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ, Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ,*** y en calidad de Asesor el ***M.Cs. DAVID RICARDO URIOL VALVERDE,*** actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **"CONTENIDO DE PLOMO ABSORBIDO POR LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), CULTIVADA EN MEDIOS HIDROPÓNICOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO,".** presentada por el **Bachiller en Industrias Alimentarias EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO.**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó...Aprobar....con la calificación de .....DIECISÉIS....(16).....la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Industrias Alimentarias, EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO.** está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS** Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las ..12.00.. horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
M.Cs. David Ricardo Uriol Valverde
Asesor

.....
Dr. Juan Edmundo Chávez Rabanal
Jurado Evaluador

.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

.....
Dr. Jimy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A:

Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada uno de los pasos que doy, por brindar fuerza y fortaleza a mi corazón y mi mente, por haberme permitido llegar hasta este punto tan importante en mi vida dándome salud.

Mi madre María Guillermina Molocho, por darme la vida, regalarme su amor incondicional, ser fiel creyente en mí, y por su apoyo integro a través del tiempo.

Mi padre Fabián Ruiz, por ser un ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracterizan, por ser el pilar fundamental en mi vida, y aquel que tomó las riendas de una hermosa familia.

Mis hijos Gustavo Fernando Ruiz Gonzales y Dorian Zahid Ruiz Rojas, por ser los seres que más amo y que alegran mis días, para que vean en mí un ejemplo y que toda meta es posible.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a mi asesor MCs. David Ricardo Uriol Valverde, quien, con sus enseñanzas, su conocimiento y su motivación ha hecho de mi un profesional investigador con mucha persistencia.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, escuela de Posgrado por abrirme sus puertas y brindarme una enseñanza de alta calidad.

Al Instituto CEFOP – Cajamarca por brindarme los espacios correspondientes para la ejecución de mi investigación.

Al Ing. Juan Vásquez Sánchez por brindarme su apoyo incondicional en todo el trascurso de la ejecución de este proyecto de investigación.

A mi familia los cuales me apoyaron durante todo el periodo del proyecto de investigación.

A mis hijos Gustavo Fernando y Doria Zahid por todo el amor incondicional que me brindaron antes, durante y después de mi investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **x**

LISTA DE ABREVIATURAS ..... **xi**

RESUMEN ..... **xii**

ABSTRACT ..... **xiv**

CAPÍTULO I **1**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO II **4**

MARCO TEÓRICO **4**

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial **4**

2.1.1. Antecedentes internacionales. 4

2.1.2. Antecedentes nacionales. 5

2.1.3. Antecedentes locales. 8

2.2. Bases teóricas **9**

2.2.1. Agua 9

2.2.2. Agua de riego 10

2.2.3. Contaminación del agua 11

2.2.4. Lechuga 11

2.2.5. Eco-fisiología del cultivo 15

2.2.6. Hidroponía 17

2.2.7. Plomo. 26

2.2.8. Plomo en plantas. 28

2.2.9. Ciclo de asimilación de plomo en plantas y sus efectos 28

2.2.10. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente 29

2.3. Definición de términos básicos 30

2.3.1. Hidroponía: 30

2.3.2. Lechugas 31

2.3.3. Plomo 31

CAPÍTULO III 32

MATERIALES Y MÉTODOS 32

3.1. Ubicación de la zona de estudio 32

3.2. Población, muestra y unidad de análisis. 32

3.2.1. Población 32

3.2.2. Muestra 32

3.2.3. Unidad de análisis 32

3.3. Método de la investigación 33

3.4. Variables 34

3.4.1. Variable dependiente 34

3.4.2. Variable independiente 34

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información 34

3.5.1. Técnicas de recolección de información 34

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos 35

3.6. Metodología 36

3.6.1. Análisis de agua 36

3.6.2. Habilitación de invernadero 38

3.6.3. Habilitación de tecnopor para la siembra 38
3.6.4. Habilitación de esponja 38
3.6.8. Obtención de plántulas. 39
3.6.9. Preparación de la solución hidropónica. 40
3.6.10. Instalación 40
3.6.11. Análisis a realizar 41
3.6.12. Tratamiento y análisis de datos 41

3.7. Hipótesis 41

CAPÍTULO IV 42

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

4.1. Presentación de resultados 42

Contrastación de hipótesis 47

CAPITULO V 48

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 48

Conclusiones 48

Recomendaciones 48

CAPÍTULO VI 49

BIBLIOGRAFÍA 49

CAPÍTULO VII 55

ANEXOS 55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Clasificación botánica de la lechuga.* 14

Tabla 2 Caracterización de la lechuga génesis (gentilina) 15

Tabla 3 *Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos.* 23

Tabla 4 *Distribución de tratamientos* 33

Tabla 5 *Informe del análisis del agua de agua subterránea de pozo del Cefop – Cajamarca* 36

Tabla 6 *Resultados del laboratorio acreditado SGSS* 42

Tabla 7 *Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de plomo en la materia seca de la lechuga* 44

Tabla 8 *Prueba de Tukey para la concentración de plomo en la materia seca de la lechuga* 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Raíz, tallo y hoja de lechuga* *13*

Figura 2 *Cultivos sin suelo* *18*

Figura 3 *Toma de muestra de agua subterránea CEFOP Cajamarca* *55*

Figura 4 *Colocación de reactivo para análisis* *55*

Figura 6 *Siembra de lechuga en humus de lombriz* *59*

Figura 7 *Compra de lechuga génesis* *59*

Figura 8 *Germinación de semillas* *59*

Figura 9 *Crecimiento de semillas* *59*

LISTA DE ABREVIATURAS

LMP: Límites Máximos Permisibles

ppm: Partes por millón

ANA: Autoridad Nacional del agua

MINAGRI: Ministerio de Agricultura y Riego

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

OMS: Organización Mundial de la Salud

LMP: Límite Máximo Permisible

MINSA: Ministerio de Salud

FH: Forraje Hidropónico

GI: Gastro Intestinal

mL: mililitro

UNI: Universidad Nacional de Ingeniería

USAQ: Unidad de Servicio de Análisis químicos

TT: testigo

T1: tratamiento 1

T2: tratamiento 2

T3: tratamiento 3

DCA: diseño completamente al azar

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el laboratorio de Química Ambiental 1E – 207 del Departamento Académico de Ciencias Químicas y Dinámicas de la Universidad Nacional de Cajamarca además de la instalación del invernadero que fue en el IESTP CEFOP – Cajamarca, tuvo como objetivo determinar el contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo, la metodología empleada consistió en la siembra de lechuga en bandejas que contenía agua y 3 concentraciones de plomo (0,05 mg/L; 0,10 mg/L; 0,15 mg/L) más el testigo, de ello se hizo 4 repeticiones, haciendo un total de 16 bandejas de siembra en las cuales se instalaron 9 plantas por cada una haciendo un total de 144 plantas, después de la siembra se tomaron las 16 unidades experimentales bajo un DCA. Se realizó el análisis en el laboratorio SGS – Perú S.A.C., con el método de Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente. Se determinó los resultados para la presente investigación donde la lechuga absorbe y acumula plomo en su hoja desde una cantidad mínima de 0,031 mg/L hasta una cantidad de 0,228 mg/L. Las concentraciones más altas en el medio hidropónico resultaron en una mayor concentración de plomo en la hoja de lechuga, lo cual representa un riesgo potencial para la seguridad alimentaria, donde con una concentración de plomo de 0,05 mg/L después de 45 días dio como resultado el 0,087 mg/L para el T1R1; 0,091 mg/L para el T1R2; 0,090 mg/L para el T1R3 y 0,088 mg/L para el T1R4; con una concentración de plomo de 0,10 mg/L lo que se obtuvo como resultado después de 45 días fue 0,118 mg/L para el T2R1; 0,123 mg/L para el T2R2; 0,092 mg/L para el T2R3 y 0,128 mg/L para el T2R4; y finalmente con una concentración de plomo de 0,15 mg/L después de 45 días, donde se obtuvo los siguientes resultados de laboratorio, 0,215 mg/L para el T3R1; 0,151 mg/L para el T3R2; 0,228 mg/L para el T3R3 y 0,147 mg/L para el T3R4. Por lo tanto, este estudio subraya la necesidad de monitorear la calidad de agua y los medios hidropónicos utilizados en el cultivo para de esta

manera evitar la contaminación por metales pesados, en especial a las hortalizas de hoja que son de consumo humano directo.

Palabras clave: hidropónica, metales pesados, plomo, *Lactuca sativa* L, biodisponibilidad.

ABSTRACT

This research work was developed in the Environmental Chemistry laboratory 1E - 207 of the Academic Department of Chemical Sciences and Dynamics of the National University of Cajamarca in addition to the installation of the greenhouse that was in the IESTP CEFOP - Cajamarca, its objective was to determine the lead content absorbed by lettuce (Lactuca sativa L.) grown in hydroponic media with different concentrations of lead, the methodology used consisted of planting lettuce in trays containing water and 3 concentrations of lead (0,05 mg / L; 0,10 mg / L; 0,15 mg / L) plus the witness, of which 4 repetitions were made, making a total of 16 sowing trays in which 9 plants were installed for each one making a total of 144 plants, after planting the 16 experimental units were taken under a DCA. The analysis was carried out in the SGS – Perú S.A.C. laboratory, using the Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry method. The results for the present investigation were determined where lettuce absorbs and accumulates lead in its leaf from a minimum amount of 0,031 mg / L to an amount of 0,228 mg / L. Higher concentrations in the hydroponic medium resulted in a higher concentration of lead in the lettuce leaf, which represents a potential risk to food safety, where with a lead concentration of 0,05 mg / L after 45 days it resulted in 0,087 mg / L for T1R1; 0,091 mg / L for T1R2; 0,090 mg / L for T1R3 and 0,088 mg / L for T1R4; With a lead concentration of 0,10 mg/L, the results obtained after 45 days were 0,118 mg/L for T2R1; 0,123 mg/L for T2R2; 0,092 mg/L for T2R3; and 0,128 mg/L for T2R4; and finally, with a lead concentration of 0,15 mg/L after 45 days, the following laboratory results were obtained: 0,215 mg/L for T3R1; 0,151 mg/L for T3R2; 0,228 mg/L for T3R3; and 0,147 mg/L for T3R4. Therefore, this study underscores the need to monitor water quality and the hydroponic media used in cultivation to prevent heavy metal contamination, especially in leafy vegetables intended for direct human consumption.

Keywords: hydroponics, heavy metals, lead, Lactuca sativa L, bioavailability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En Cajamarca las hortalizas de tallo corto como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) son de consumo directo, aportando una mezcla de nutrientes, fibra y vitaminas que son necesarios en la dieta de las personas; estas plantas tienen la capacidad de absorber nutrientes, viéndose afectado por la acción contaminante de metales pesados como plomo que se encuentran en el agua, suelo y aire.

(Pertierra y Quispe, 2020) mencionan que, en los últimos años, la producción de lechuga hidropónica se ha vuelto cada vez más atractiva debido a la urbanización, a la demanda de productos frescos y cultivados localmente. La lechuga es un cultivo a corto plazo que puede crecer en 45 días o menos en sistemas hidropónicos sin sufrir déficit de oxígeno, a diferencia de otros cultivos de largo plazo como tomates, pimientos y pepinos. Debido a que el crecimiento de la lechuga es rápido se puede cultivar en sistemas hidropónicos durante todo el año. De este modo, es cada vez más interesante para los productores ornamentales de invernadero que están en constante búsqueda de cosechas alternativas remunerables, la lechuga hidropónica en Estados Unidos está considerada como un producto de alto ingreso para el productor.

La ciudad de Cajamarca cuenta con una población de 245,137 habitantes de acuerdo al (Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social [MIDIS], 2024), en la actualidad se viene consumiendo este tipo de hortaliza en los mercados locales como mercado San Martin, mercado modelo central, mercado San Antonio y los mercados itinerantes de la ciudad, que vienen a vender lechuga de diferentes distritos de la ciudad, lo cual es incierto de cómo pueden estar estas hortalizas y puede causar daños a la salud de las personas por la contaminación con este metal pesado (plomo); es necesario e importante saber si la hoja de lechuga (*Lactuca sativa*

L.) cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo absorbe o no este metal y en qué cantidades, para informar a la población cajamarquina y a todas las personas interesadas en esta investigación, si es que el metal pesado se acumula en las hojas de esta hortaliza y en qué cantidades, y saber también si se acumula o no en la lechuga; o se metaboliza.

Con la investigación se determinó en que cantidades se encuentra el metal pesado como el plomo en las hojas de lechuga, ya que esta hortaliza es de consumo directo en todo Cajamarca.

Una de las limitantes fue encontrar el laboratorio acreditado para el análisis de las muestras, el único que cumple con esta característica fue el laboratorio SGS ubicado en Callao, Lima, al cual se enviaron las muestras por vía aérea, para minimizar los tiempos de envío ya que es una verdura perecedera.

Bajo este contexto se hizo el presente estudio a fin de responder a la pregunta ¿Cuál es el contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo?; por lo que muestra hipótesis es: El contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo, es mayor conforme aumenta la concentración de plomo del medio hidropónico.

Los objetivos que se plantearon en la investigación fueron: Determinar el contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo; específico: Determinar el contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivada en medios hidropónicos con una concentración de plomo de 0,05 mg/L; 0,10 mg/L y 0,15 mg/L después de 45 días.

El presente estudio realizó el trabajo de campo que consistió en la siembra de la lechuga en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo, donde los tratamientos se codificaron como: T1 con 0,05 mg/L de concentración de plomo, T2 con 0,10 mg/L de concentración de plomo, T3 con 0,15 mg/L de concentración de plomo y un control como TT, y con 4 repeticiones cada uno respectivamente durante el periodo de 45 días, luego se tomó las muestras al azar de diferentes bandejas para ser llevadas al laboratorio y determinar la cantidad de plomo acumulado en la hoja de lechuga.

En el capítulo I se muestra el problema de investigación, los objetivos que persiguen, la hipótesis y el procedimiento general de la investigación. En el capítulo II se observa el marco teórico, que sustenta la investigación como los antecedentes de trabajos similares, posteriormente en el capítulo III se presenta los materiales y métodos usados en la investigación, en el capítulo IV se presenta los resultados y discusiones analizados de acuerdo con los objetivos de la presente tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Vásquez et al. (2019) en su investigación sobre *"Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (Lactuca sativa) en Azuay, Ecuador"*, tuvieron como objetivo determinar la concentración de plomo en el follaje de lechugas de repollo en la parroquia San Joaquín. Se sembraron doce lechugas de repollo en dos camas que fueron ubicadas en condiciones de cielo abierto y bajo invernadero con un suelo sustrato común para el desarrollo de las plantas, el sustrato fue caracterizado, los resultados evidenciaron que el contenido de plomo en el follaje de la lechuga provino en su mayoría del aire. Al momento de la cosecha, se enviaron muestras de follaje para el análisis del contenido de plomo mediante el método de absorción atómica, el menor valor correspondió al cultivo bajo invernadero con un promedio de 0,066 mg/L, en tanto que el cultivo abierto obtuvo valor de 0,087 mg/L, de acuerdo a la prueba "T" independiente, no hay diferencia estadística significativa, estos valores de concentración de plomo están por debajo de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con lo que se considera que las lechugas no están contaminadas con plomo asociado a vehículos y combustibles.

Guzmán et al. (2021) en el estudio *"Evaluación de la contaminación por metales pesados y su acumulación en plantas de lechuga (Lactuca sativa L.)"*se tuvo como propósito fue evaluar la extracción de metales pesados por plantas de lechuga en condiciones de producción. Se realizó un muestreo aleatorizado del suelo y cultivo. Se determinó el contenido de metales pesados por Fluorescencia de Rayos X—Dispersiva

en Energías y se estimó el coeficiente de transferencia en el cultivo. Los valores obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo y plantas, propuestos en la literatura. Los resultados mostraron que el suelo está contaminado por los metales Ni, Cu y Pb. En el cultivo se encontró la acumulación de siete metales pesados estudiados (Fe, Co, Zn, Mn, Cu, Ni y Pb) en niveles elevados y la mayor acumulación es en la parte aérea, lo cual representa un peligro para la seguridad alimentaria local.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Ramos y Aldana (2022) en su investigación sobre *"Evaluación de la concentración por bioacumulación de arsénico y plomo en rabanito (Raphanus sativus) y lechuga (Lactuca sativa L.) procedentes de Pacora-Lambayeque",* tuvo como como objetivo principal evaluar la bioacumulación de arsénico y plomo en rabanito (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.), procedentes de Pacora-Lambayeque con respecto a los Límites Máximos Permisibles (LMP). Para este estudio se procedió a evaluar el agua utilizada como fuente de riego para el cultivo de rabanito y lechuga, posteriormente se analizaron diversas muestras de las hortalizas cosechadas para determinar la concentración de metales pesados que fueron procedentes del agua de riego. Se logró caracterizar el agua utilizada como fuente de riego encontrando presencia de plomo en concentraciones no significantes. De la misma forma se obtuvieron los resultados de las concentraciones de los metales pesado encontrados en las hortalizas cultivadas, siendo ambas concentraciones elevadas y mayores a los LMP, para el rabanito fue: de 0,4 a 6,022 mg/L de plomo; y para la lechuga fue: de 0,659 a 6,484 mg/L de plomo. Se concluye que los estudios realizados permiten identificar la contaminación por parte del agua hacia los diversos cultivos de hortalizas, y de la misma forma de los alimentos a las personas que la consumen. Por lo que se debe tener en

cuenta las fuentes de agua que se van a utilizar en el cultivo de los alimentos y disminuir dichas concentraciones de los metales pesados. La concentración plomo por bioacumulación en rabanito (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.), procedentes de Pacora-Lambayeque según los resultados obtenidos superan significativamente los LMP.

Colos y Flores (2022) su investigación sobre *"Determinación de plomo, cadmio y arsénico en lechuga (lactuca sativa) expendidos en el mercado Unicachi, Comas, en el periodo agosto 2021"*, cuyo objetivo fue determinar las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en lechugas (*Lactuca sativa*) expendidas en el mercado Unicachi, Comas, en el periodo agosto 2021, además la población de estudio estuvo constituida por las lechugas de un total de 20 puestos que son expendidas en el mercado Unicachi, Comas; la muestra estuvo conformada por 10 lechugas que son expendidas en el mercado Unicachi. La técnica empleada para cuantificar los metales pesados motivos de la presente investigación fue la absorción atómica que se llevó a cabo en el laboratorio Labicer de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Las concentraciones de metales pesados hallados en lechugas fueron: plomo menor a 0,15 mg/L, cadmio menor a 0,04 mg/L y arsénico menor a 4,99 mg/L. Las concentraciones de plomo hallada en lechugas no superan el nivel máximo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (0,3 mg/L); las concentraciones de cadmio hallada en lechugas no superan el nivel máximo establecido por la OMS (0,2 mg/L) y las concentraciones de arsénico hallada en lechugas superan el nivel máximo establecido por la OMS (1,0 mg/L). Los resultados demuestran la exposición a estos metales pesados en lechugas y por consiguiente su presencia en la alimentación.

El desarrollo de la revolución industrial y las actividades antropogénicas, como la agricultura, la industria, la vida urbana, entre otros; han aumentado la exposición y biodisponibilidad de metales pesados en suelos, agua y aire. El plomo, es considerado como un agente contaminante común y muy peligroso, deriva de desechos de minas, fundiciones e industria (Madueño, 2017).

Madueño (2017) manifiesta que la concentración de plomo hallada en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) tiene una media de 1,279 mg/L además de la concentración de plomo hallada en hojas de lechuga el 40 % de las lechugas de estudio superan el Nivel Máximo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) con 0,3 mg/L.

Regalado y Ferrer (2024) en su investigación sobre *"Determinación de la presencia de metales pesados en Lactuca sativa, Spinacia oleracea y Coriandrum sativum expendidos en el Mercado Mayorista la Perla"*, tuvo como objetivo fue determinar la concentración de metales pesados como plomo (mg/kg) y cadmio (mg/kg) en lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacia oleracea*) y cilantro (*Coriandrum sativum*), que se expenden en el mercado mayorista La Perla del distrito de Chimbote por ser un mercado que abastece a la población de la Provincia del Santa. De acuerdo al último Censo realizado en el 2017 la provincia más poblada de la región Ancash es la provincia del Santa con 435 804 habitantes, ocupando el 40,2 % de la población departamental. La investigación fue de tipo no experimental dado que no hubo alteración de la variable de estudio. La toma de muestras para nuestra investigación fue no probabilística por conveniencia y se estudiaron 9 muestras: 3 muestras del área de hortalizas, 3 muestras del área mixta y 3 muestras del área de huaracinos. Los resultados demuestran que la concentración de plomo en todas las muestras estudiadas, sobrepasaron el límite máximo permisible. La concentración de cadmio en caso de la

lechuga y espinaca, solo en el área de hortalizas sobrepasó el límite máximo permisible, y en el cilantro solo en el área mixta sobrepaso el límite máximo permisible.

2.1.3. Antecedentes locales.

Saldaña (2024) en el estudio *"Relación entre la concentración de plomo en suelo y el valor de sus factores de bioconcentración y traslocación en plantas de lechuga (Lactuca sativa L.)"*cuyo objetivo fue determinar la relación entre la concentración de plomo en el suelo, sus propiedades físico-químicas como Fosforo (P), Potasio(K), pH, Materia Orgánica (M.O), Aluminio (Al), Arena, Limo, Arcilla y el valor de sus factores de bioconcentración, bioacumulación y traslocación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), se realizó en tres tratamientos y un control, cada uno con tres repeticiones. El tratamiento control sin contenido de nitrato de plomo, mientras que en los otros tres se administró nitrato de plomo a concentraciones de 35 mg/L, 70 mg/L y 150 mg/L; de esta manera se evaluó el factor de bioconcentración (BFC), factor de bioacumulación (BFA) y traslocación (TF) del plomo. Así, el tratamiento con mayor concentración fue t4 obteniendo un factor de traslocación (TF) de 1,255; t3 obteniendo un factor de bioconcentración (BFC) de 0,419 y t3 con un factor de bioacumulación de 0,501; así mismo los factores de bioacumulación (BFA) y de bioconcentración (BFC) no variaron significativamente en cuanto al control. El TF si mostró una variación significativa en cuanto al control siendo los valores más altos obtenidos del estudio los resultados del tratamiento t4. Los parámetros del suelo que influyeron en la absorción del plomo en la planta fuertemente fueron el pH y la materia orgánica obteniendo un p-value de p-valor "sig bilateral" = 0,043 < α = 0,05 y un coeficiente de correlación de Pearson (R), significativo, de 0,999 positivo. Se pudo establecer una relación directa entre las concentraciones de los tratamientos aplicados y la concentración de Pb en las plantas.

Afán y Flores (2018) en su investigación sobre *"Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017"*, cuyo objetivo fue determinar las concentraciones de Arsénico y Plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc departamento de Cajamarca en el mes de Octubre del 2017. En el desarrollo de esta investigación se cuantifico plomo y arsénico mediante la metodología analítica de absorción atómica con horno de grafito por ser una técnica altamente sensible y especifica. Se tomaron 15 muestras de agua en 5 puntos diferentes para determinar dichos niveles y se analizaron en la unidad de servicio de análisis químicos (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los resultados nos indica que la concentración promedio de Arsénico en el agua potable es de 0,0060 mg/L. con cifras extremas: mínima de 0,0000 mg/L y máxima de 0,0213 mg/L, encontrándose que el 27 % supera los LMP dados por la DIGESA, y la concentración promedio de plomo es de 0,0564 mg/L. con cifras extremas: mínima de 0,0105 mg/L y máxima de 0,1587 mg/L, encontrándose que el 100 % superan las concentraciones del LMP dados por la DIGESA. Estos resultados evidencian un riesgo de intoxicación crónica y un grave problema de salud para la población de Hualgayoc.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua

El agua constituye patrimonio de la nación y el dominio sobre ella es inalienable e imprescindible, no hay propiedad privada sobre el agua. Es un bien de uso público y su administración solo puede ser otorgada y ejercida en armonía con el bien común, la protección ambiental y el interés de la nación. El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y la seguridad de la

nación, así lo menciona la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos de marzo del 2009, el que a su vez establece once principios como el referido a su valor sociocultural, económico y ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y el equilibrio entre estos. El agua es parte integral de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrobiológico (Autoridad Nacional del Agua [ANA] y Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2009).

2.2.2. Agua de riego

En Perú, el uso de agua para el riego de cultivos, especialmente hortalizas, está regulado por diversas normativas que buscan garantizar un manejo sostenible y eficiente del recurso hídrico; es por ello que la Ley General de Aguas (Decreto Ley Nº 17752), establece principios fundamentales para el uso del agua en el país. Los puntos clave incluyen: **el uso justificado y racional:** el agua debe ser utilizada de manera eficiente y responsable, priorizando su uso para necesidades básicas y agrícolas; **prioridades en el uso del agua:** se establece un orden de preferencia para la utilización del agua, donde el riego agrícola es considerado después del abastecimiento de poblaciones y la cría de animales; **permisos y regulaciones:** para utilizar el agua, los usuarios deben obtener permisos o licencias de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que regula y administra los usos en función de planes de cultivo y riego, también se puede observar los artículos relevantes como son el **artículo 42** el cual define que se pueden otorgar usos de aguas para agricultura en el siguiente orden: primero en riego de tierras agrícolas con sistemas de regadío existentes, segundo en riego de cultivos con aguas excedentes, tercero en el mejoramiento de suelos y en cuarto lugar en irrigación y el artículo 43 menciona que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) debe regular los usos del agua en los distritos de riego según planes semestrales o anuales, ajustando el abastecimiento según las necesidades (Ministerio de Salud [MINSA], 1969).

Por otro lado, los Estándares de Calidad del Agua mencionan que, para el riego de hortalizas, especialmente aquellas que se consumen crudas, se establecen Estándares de Calidad Ambiental que son obligatorios en todo el territorio nacional, uno de los parámetros importantes son los contaminantes tóxicos en donde el agua utilizada no debe contener sustancias como boro y metales pesados, que son perjudiciales tanto para los cultivos como para la salud humana. Estos estándares están alineados con guías internacionales como las de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece una concentración de 5 mg/l de plomo para aguas destinadas al riego y la OMS establece concentración máxima de plomo permitida en el agua destinada al riego de hortalizas es de 0,5 mg/l (500 µg/l) (Ministerio del Ambiente [MINAM], 07 de junio de 2017).

2.2.3. Contaminación del agua

La contaminación por plomo en las aguas de Perú es un problema que requiere una atención urgente de las autoridades competentes, quienes deben implementar medidas efectivas para remediar las fuentes de contaminación y proteger la salud pública, así como garantizar que el agua utilizada para riego y consumo animal cumpla con los estándares de calidad necesarios para prevenir riesgos sanitarios, siendo el impacto ambiental alarmante; los metales pesados como el plomo, no solo contaminan el agua, sino que también afectan los suelos y los cultivos. La investigación ha mostrado que el agua puede contaminarse tanto por actividades mineras legales como ilegales, lo que resulta en una bioacumulación de plomo en frutas y verduras consumidas por la población (Avalos, 2023).

2.2.4. Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal

producción se concentra en zonas más temperadas y subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. Además, es una hortaliza que se consume todo el año, siendo una fuente de vitaminas y agua con muy pocas Kcal (Kilo calorías). El 92 % de su estructura es agua, entre sus propiedades destaca su facultad para combatir el insomnio, alteraciones nerviosas y la acidez estomacal. Es un elemento básico para elaborar diversos platillos, también esta hortaliza es una planta anual autógama, que posee una raíz pivotante, relativamente gruesa en la corona que se adelgaza gradualmente en profundidad, la cual puede alcanzar más de 60 cm de profundidad (Figura 1). La mayor densidad de raíces laterales está cerca de la superficie; por lo tanto, la absorción de nutrientes y agua ocurre mayormente en los niveles superiores del suelo (Jackson, 1995) citado por (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

Lactuca sativa fue descrita por el científico naturalista sueco Carlos Linneus en el año 1753, texto que fue publicado en Species Plantarum Nº 2: 795. Lactuca es un nombre genérico que procede del latín “lac” (que significa leche), que se refiere al líquido lechoso, o de apariencia láctea, que es la savia que exudan los tallos de esta planta al ser cortados y, sativa es un epíteto que hace referencia a su carácter de especie cultivada; las hojas sésiles están distribuidas en forma de espiral, en una roseta densa alrededor de un tallo corto. El desarrollo de la roseta puede continuar durante el periodo vegetativo de la planta como es en el caso de las lechugas de hoja, o formar una cabeza redondeada como en las escarolas y butterhead, o una cabeza elongada como en el caso de Costinas o Romanas. Hay una considerable diversidad de colores, formas, tipos de superficies, márgenes y textura entre los diversos tipos y formas de lechuga. Los grados de color verde de las hojas pueden variar desde oscuros a claros, pero la cualidad de

verde puede ser variado por tintes amarillentos. Además, la presencia de antocianinas puede estar en toda la hoja o en sectores dando tonalidades diferentes (Instituto

Figura 1

Raíz, tallo y hoja de lechuga.

Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

Nota. En la figura 1, en la parte izquierda se muestra la raíz de la lechuga, en la parte derecha se muestra un corte horizontal de la planta mostrándose así el tallo y la hoja de manera correcta. Fuente. Manual de la producción de lechuga, editor Gabriel Saavedra del Real (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

El ovario, que está bajo la corola, una vez que es fertilizado forma un embrión que está rodeado por tejido nucelar y endospérmico y un delgado pericarpio, los cuales forman un fruto llamado aquenio, que está coronado en la parte superior por pelos. Los aquenios maduran aproximadamente 2 semanas después de la fertilización y pueden ser de diferentes colores, desde negro a gris, blanco, café o amarillos. Las semillas recién cosechadas normalmente tienen un periodo de dormancia corto, pero la mayoría de los cultivares presenta diferentes niveles de termo dormancia (Mou, 2008, como se citó en Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

A) Taxonomía, botánica y valor nutritivo de la lechuga

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la Asteraceae, conocida anteriormente como Compositeae. Su clasificación completa se muestra en la tabla 1. La lechuga presenta una gran diversidad, dado principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

Tabla 1

Clasificación botánica de la lechuga.

Categorías taxonómicas	**Taxón**
Reino	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Tribu:	Cichorioideae
Género:	Lactuca
Especie:	*Lactuca sativa* L.

Nota. En la tabla 1 se muestra la clasificación botánica de la lechuga, donde muestra su reino, división, clase, orden, familia, tribu, género y especie de la lechuga. Fuente (INIA, 2017).

B) Caracterización de la lechuga génesis

Tabla 2

Caracterización de la lechuga génesis (gentilina)

Características	Descripción
Variedad	Génesis (Gentilina)
Precocidad	Precoz
Forma de cogollo	Cerrado, crujiente
Hoja	Abullonada, rubia
Anotaciones	De corte o cogollo

Nota. En la tabla 2 se muestra las características y descripción de la lechuga génesis. Fuente (Buda, 2021).

La lechuga génesis (gentilina) se distingue por su color, que va del verde claro al rojizo, con hojas onduladas. La gentilina tiene una cabeza ligeramente alargada, abierta y voluminosa, de hojas verdes brillantes y ligeramente ondulada con puntas dentadas y crujientes (Cruzco et al., 2023), las cabezas son grandes y compactas, material precoz su cosecha se presenta a los 80 días dependiendo de la zona y las condiciones climáticas excelente color, buen diámetro ecuatorial y diámetro polar (Salinas, 2013).

2.2.5. Eco-fisiología del cultivo

López y Frezza (2022) el ciclo biológico de la planta de lechuga se divide en tres fases sucesivas:

a) Fase de germinación y emergencia

En la fase de germinación podemos distinguir tres acontecimientos importantes:

Etapa de imbibición de la semilla (o del fruto): la absorción de agua es el primer paso de la germinación. La imbibición de la semilla depende de la tonicidad del entorno, ocurre el transporte de agua hacia el interior del fruto y hacia las células que componen los diferentes tejidos. Este proceso va acompañado de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.

Etapa de germinación: en esta etapa se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

Etapa de crecimiento: es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula (cambio morfológico visible). Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria.

b) Fase vegetativa

La fase vegetativa se inicia posterior a la fase de emergencia y culmina cuando la planta se induce a floración. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva, no hay desarrollo del meristema terminal del tallo y las hojas se desarrollan de manera alterna formando una roseta de hojas. Agronómicamente la fase vegetativa es dividida en dos:

Fase de formación de una roseta de hojas.

Fase de formación de un cogollo, o formación de “cabeza” más o menos compacto. La segunda fase es la que más difiere de acuerdo con el tipo de lechuga, ya que el proceso de formación de la cabeza o “acogollado”

es de carácter genético. Sin embargo, no solo la genética influye en el acogollado, también los

c) Fase reproductiva o de emisión del tallo floral

Esta fase inicia en el momento de la elongación de los entrenudos que dan origen a la "subida de la planta". Una vez desarrolladas las estructuras florales, ocurre la fecundación del ovario y el posterior desarrollo del fruto (ver capítulo 2). Los cambios cualitativos que ocurren en este período son importantes desde el punto de vista agronómico. Se considera una etapa no deseada si el destino de la producción es la parte vegetativa. La "subida" determina la pérdida de calidad comercial del producto, sin embargo, es una fase relevante para la producción de semillas.

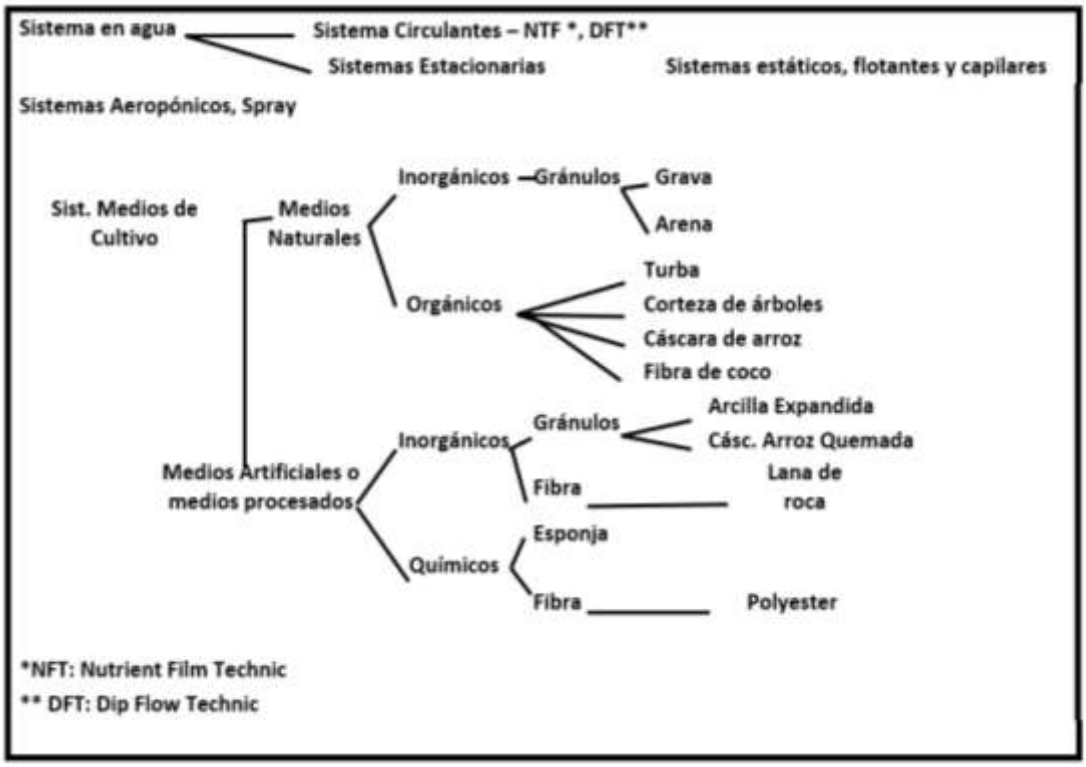
2.2.6. Hidroponía

El término "hidroponía" tiene su origen en las palabras griegas "hidro" que significa agua y "ponos" que significa trabajo. O sea "trabajo en agua". La hidroponía es el arte de cultivar plantas sin usar suelo agrícola. En los cultivos sin suelo, éste es reemplazado por un sustrato inerte donde los nutrientes (el alimento) que necesita la planta para vivir y producir son entregados en el riego. También son cultivos hidropónicos aquellos que se cultivan en agua con nutrientes. En un sistema hidropónico se puede cultivar todo tipo de plantas como, por ejemplo, hortalizas, flores, pasto para forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales y hasta cactus. Es una técnica de producción agrícola en la que se cultiva sin suelo y donde los elementos nutritivos son entregados en una solución liquida (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 2018).

A) Manejo de lechuga en diferentes sistemas hidropónicos bajo condiciones de invernadero.

Figura 2

Cultivos sin suelo



Fuente. Universidad de OSAKA, Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998 citado por (INIA, 2017).

Nota. En la figura 2 se muestra los tipos de cultivo sin suelo y el sustrato de los mismos.

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales

orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

C) Historia de la hidroponía.

Los principios son encontrados en China, Egipto e India. Leonardo Da Vinci también experimentó en este campo. En el 1600 el belga Helmont realizó experimentos que demuestran la obtención de nutrientes por parte de las plantas. R. Boyle (1600) realizó experimentos de crecimiento de plantas en vasos. En 1699 Woodward demostró finalmente como las plantas obtenían alimentos. Posteriormente en 1860 los alemanes Sachs y Knop fueron los primeros en hacer crecer las plantas en una solución nutritiva, llamando al proceso ¨nutriculture¨ (Gilsanz, 2007).

Diferentes trabajos de investigación fueron realizados hasta llegar a 1929, donde William F. Gricke, profesor de la Universidad de California, Davis, define el proceso como hidroponía que significa "agua que trabaja". Durante la segunda guerra mundial las fuerzas aliadas instalan en sus bases sistemas hidropónicos para proveer de vegetales y frutas frescas a las tropas en conflicto. Luego, la hidroponía comercial se extiende a través del mundo en 1950. Más recientemente se produce un mayor crecimiento de la hidroponía, al desarrollarse la industria de los plásticos (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

D) Ventajas en el uso de la hidroponía.

Oloya y Quispe (2018, como se citó en Condor y Romero, 2023) mencionan que las ventajas del sistema hidropónico son que permiten su proceso más homogéneo y especialmente favorecen en su desarrollo del sistema radicular de las plantas, los

cultivos tradicionales se encuentran expuestos a los problemas fitopatológico, a las enfermedades producidas en el suelo como los hongos, por lo tanto se usan muchos pesticidas, a diferencia del cultivo hidropónico el cual reduce la adición de pesticidas los cuales cada vez son prohibidas, se evita la inversión para la preparación de los terrenos de cultivo, o de mano de obra para mantener el desarrollo del cultivo de la planta tales como siembra, fumigación, además, tiene mayor aprovechamiento del agua utilizada, lo cual indica menor desperdicio de la misma, los cultivos hidropónicos absorben eficientemente los nutrientes minerales como también se obtiene mayor cantidad de siembra en espacio reducido, mejora la calidad y además ayuda en la precocidad de la cosecha y admite la posibilidad de automatizar para el desarrollo de su producción.

La hidroponía adicionalmente tiene como puntos positivos un mayor periodo de vida de los alimentos y material vegetal, en comparación a los cultivados en suelo, no se tiene que preparar el suelo para el cultivo, evitando así tener maleza, plagas y por ende disminuye el uso de pesticidas; por esta misma razón son más limpios, tienen menos cantidad de parásitos, insectos y enfermedades relacionadas; además, tienen un rango de acción más amplio en comparación con la agricultura orgánica, pero sin sacrificar la inocuidad y contenido nutrimental de los alimentos (Zárate, 2014).

Tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular adquiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde se suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2020).

En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no sólo pueden automatizarse, sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas. Además, en general las tareas son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos (Gilsanz, 2007).

La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y sub-urbanas para la producción. En general es posible desarrollar producciones comerciales exitosas en áreas tan pequeñas como el fondo de una casa. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2017).

E) Desventajas en el uso de la hidroponía.

Alto costo del capital inicial, elevados costos de producción, por lo que es mejor hacer pequeños ensayos, y con la experiencia adquirida, ir montando su propio proyecto, por otro lado desconocimiento del sistema hidropónico apropiado para producir un determinado cultivo, es por ello que se debe conocer los sistemas que mejor se ajustan al cultivo que usted quiere iniciar, también el desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos, por lo tanto, debe capacitarse previamente para tener éxito en la producción, esto depende más del manejo de cada uno de los factores de la práctica, que del conocimiento de la técnica en sí. La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas puede alterar su composición afectando la apariencia y calidad de las plantas. Lea las instrucciones y maneje los nutrientes con cuidado, siguiendo las recomendaciones

del manufacturero y finalmente por la falta de constancia y dedicación en las labores de cultivo (Bosques, 2010).

La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar. Asimismo, el costo de instalación elevado es una desventaja que presenta este sistema. Sin embargo, se ha demostrado que, utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. Alternativamente, productores agropecuarios brasileros han optado por la producción de forraje hidropónico (FH) directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo microtúneles, con singular éxito. La práctica de esta metodología a piso y en túnel es quizás la más económica y accesible (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2001, como se citó en De La Cruz, 2015).

Así como en los sistemas tradicionales de producción se necesita un suelo de adecuadas condiciones para la producción, en los sistemas hidropónicos se requiere agua de buena calidad, sobre todo libre de contaminantes y de excesivas sales, con un pH cercano a la neutralidad. Aguas comúnmente duras cargadas de excesos de sales significan el desarrollo de formulaciones especiales, cuando no son limitantes del proceso productivo. En la siguiente tabla 2, se presenta un análisis comparativo de sistemas de cultivo tradicional y los hidropónicos o sin suelo (Gilsanz, 2012).

Tabla 3

Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos.

Características	Tradicional	Hidropónico
Nutrición de planta	Muy variable	Controlada, estable
	Difícil de controlar	Fácil de chequear y corregir
Espaciamiento	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz
Control de malezas	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
Enfermedades y patógenos del suelo y nematodos	Enfermedades del suelo	No existen patógenos del suelo
Agua	Plantas sufren estrés	No existe estrés hídrico
	Ineficiente uso de agua	Pérdida casi nula

Fuente: (Universidad de OSAKA, Japón, JICA, Curso de Horticultura Protegida 1998, como se citó en Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2012).

Nota. En la tabla 3 se observa las características como nutrición de planta, espaciamiento, control de malezas, enfermedades y patógenos del suelo y nematodos y el agua que estas características estas siendo comparadas en el método tradicional de siembra versus el sistema hidropónico.

F) Alternativas de uso.

La hidroponía se ha extendido en el mundo entero, desarrollándose en numerosos países. Su implementación se ha adoptado tanto en explotaciones agrícolas al aire libre, como en la agricultura protegida. Entre las principales hortalizas que pueden producirse de forma hidropónica, se encuentran las familias siguientes: Apiaceae (apio, cilantro, perejil), Asteraceae (lechuga), Brassicaceae (berro, brócoli, coliflor, repollo), Cucurbitaceae (calabaza, melón, pepino, sandía) y Solanaceae (berenjena, chile, tomate). La hidroponía se ha implementado con mucho

éxito en países desarrollados, y puede muy bien ser implementada con tecnologías sencillas en zonas urbanas y suburbanas, en forma de huertos familiares, mejorando así las condiciones de vida, el nivel de ingresos y la alimentación de los pobladores en el área urbana y rural (López E. J., 2018).

G) Hidroponía a raíz flotante

Infocampo (2017, como se citó en Valle, 2021) afirma que el sistema de raíz flotante es una técnica de cultivo en agua, en la cual las plantas crecen y desarrollan su parte aérea flotando en una plancha de espuma Flex, qué se mantiene a flote dentro de un recipiente o tanque contenedor, teniendo siempre sus raíces dentro de la solución nutritiva

López y Frezza (2022) el floating system o sistema de balsa: normalmente consiste en un reservorio (tipo estanque o pileta) lleno de solución nutritiva, sobre el que las plantas flotan sujetas a través de una placa de poliestireno expandido de alta densidad (figura 3). El pH y EC de la solución nutritiva se ajusta con adiciones directas al estanque o bien en los tanques mezcladores y bombeando después al estanque. La aireación se logra mediante una bomba o compresor que bombea aire en el sistema o cualquier otro sistema que pueda mantener el nivel de oxígeno.

Figura 3

Sistema de cultivo sin suelo: floating system.

Fuente. Fotografías: M. Lopez Bilbao y D. frezza

Nota. En la figura 3 se muestra la siembra de lechuga en hidroponía a raíz flotante, o sistema floating system.

H) Nutrientes.

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas, de los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales. De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad) los 13 nutrientes extraídos normalmente del suelo además, de los elementos que los vegetales extraen del aire y del agua (Carbono, Hidrógeno y Oxígeno), son clasificados en tres grupos: elementos mayores (Nitrógeno, fosforo y potasio); elementos secundarios (azufre, calcio y magnesio) y elementos menores (hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, cloro y molibdeno) (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2003).

2.2.7. Plomo.

Fuente.

Sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. La galena es la principal fuente de producción de plomo y se encuentra generalmente asociada con diversos minerales zinc y en pequeñas cantidades con el cobre, cadmio, fierro, etc. Sin embargo, el plomo también se encuentra presente en los desagües domésticos, que al descargar en los cursos naturales de agua o en las aguas marinas, modifica substancialmente la reproducción de invertebrados marinos y cambios neurológicos y de la sangre en los peces. Todos estos factores llevan al impacto en el equilibrio del ecosistema en el largo plazo por la presencia contaminante del plomo (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11,4 s 16 ºC (61 ºF)), de color azuloso, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327,4 ºC (621,3 ºF) y hierve a 1725 ºC (3164 ºF). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos órganos metálicos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Riesgos.

Cuando el plomo se libera al ambiente tiene un largo tiempo de residencia en comparación con la mayoría de los contaminantes. Como resultado tiende a acumularse en tierra y sedimentos. Ahí debido a su baja solubilidad, puede permanecer accesible a la cadena alimentaria y al metabolismo humano por mucho tiempo. Dos estados de

oxidación del plomo, +2 y +4, son estables, pero la química ambiental está dominada por el ion Pb^{+2}, sus compuestos y complejos. En general el ion libre +2 es más toxico que los complejos inorgánicos, y por tanto cualquier factor que aumente la complejidad y disminuya la concentración del ion libre afectara inversamente su toxicidad. El plomo tiende a formar compuestos con aniones que posean baja solubilidad, como, los hidróxidos, carbonatos y fosfatos. Por tanto, la cantidad de plomo remanente en solución en las aguas superficiales (también dependiente del pH y salinidad), es generalmente bajo. La mayor parte del plomo se mantiene retenido fuertemente y muy poco se transporta hacia aguas superficiales o subterráneas. Sin embargo, la entrada a aguas superficiales como resultado de la erosión de las partículas de tierra que contienen plomo, o mediante la conversión a un sulfato relativamente soluble en la superficie de la tierra / sedimento, puede ocurrir. Igualmente es posible el movimiento de plomo desde la tierra hasta cuerpos de agua subterránea por lixiviación (USPHS 1997). El plomo puede inhibir el crecimiento celular de plantas a concentraciones muy altas de lo establecido. En estudios recientes sobre el uso de las aguas residuales han indicado que el 85 % de los oligoelementos (cadmio, cromo, plomo y zinc etc.). Aplicados se acumulan en el suelo y que la mayoría de ellos se acumulan en los primeros centímetros. Además, la absorción de estos elementos por las plantas es tan pequeña, que no se pude esperar que reduzca apreciablemente su acumulación en los suelos, en un tiempo razonable (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Concentración establecida por otros países de la región o guías internacionales.

La Guía Canadiense de la Calidad del Agua, establece una concentración de plomo de 0,2 mg/L para aguas destinadas al riego. La FAO, establece una concentración de 5 mg/l de plomo para aguas destinadas al riego. La Ley General de Aguas establece para el Plomo un valor de concentración, de 0,1 mg/L para aguas destinadas al riego de

vegetales de consumo crudo y bebida de animales, correspondiente a la clase III (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Análisis o sustento de propuesta nacional

Se establece una concentración para el plomo de 0,2 mg/L para cultivos que se desarrollan en todo tipo de suelo y 2 mg/L para cultivos que se desarrollan en suelos neutros o alcalinos.

Método de Análisis Espectrofotometría de Absorción Atómica

2.2.8. Plomo en plantas.

García et al. (2007) pudieron demostrar que el plomo en bajas concentraciones puede atacar procesos fisiológicos importantes como la actividad fotosintética de la planta, directa o indirectamente, además disminuir el crecimiento radicular de las plantas.

Prieto et al. (2009) mencionan que el plomo afecta a las lechugas en sus raíces, además, puede causar toxicidad en las plantas al interferir con varios procesos metabólicos y estructurales en las raíces, por otro lado, las altas concentraciones de plomo en el suelo pueden inhibir el crecimiento de las raíces de las lechugas y afectar negativamente su desarrollo. Las lechugas pueden acumular plomo en sus tejidos radiculares y posteriormente translocarlo a otras partes de la planta, lo que puede afectar la calidad alimentaria y la seguridad para el consumo humano.

2.2.9. Ciclo de asimilación de plomo en plantas y sus efectos

Entre los compuestos generados por el hombre están los metales pesados, y dentro de éstos, el plomo es uno de los más frecuentes en el aire, agua, suelo, plantas, animales y humanos, éste penetra por raíz, tallo, hojas, floema y xilema de las diferentes plantas ocasionando, algunos de los síntomas generales de toxicidad, aunque

inespecíficos a este metal, son hojas más pequeñas y menor altura en el crecimiento. Las hojas pueden llegar a ser cloróticas y con necrosis de color rojizo, y las raíces pueden adquirir un color negro. Su fitotoxicidad es baja, como si estuvieran muy limitadas la disponibilidad y la absorción desde el suelo. Sin embargo, las raíces de las plantas pueden absorber y acumular grandes cantidades, pero la translocación hacia brotes aéreos es generalmente limitada debido a que se une a las superficies de la raíz y a las paredes celulares (Solís et al., 2012).

El plomo se encuentra en el ambiente, se puede encontrar en agua, suelo y aire, esto contamina a las plantas y a los animales, terminando por ingesta en el hombre donde se absorbe por inhalación (90-95 %) ingresando a las vías respiratorias como el pulmón; por otro lado se puede absorber por ingestión (5-10 %), ingresando por la faringe, hacia el tracto gastro intestinal (GI) acumulándose en hígado, tejidos blandos, tejido óseo, piel, riñón y colon, siendo estas últimas lugares de excreción de este metal pesado como por el pelo, sudor y uñas (5 – 10 %); además por la orina (80 %) y finalmente por las heces (10 – 15 %) (Robles, 2024).

2.2.10. Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente

Lopez (2020) menciona que la espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente ICPMS es altamente sensible y capaz de determinar de forma cuantitativa casi todos los elementos presentes en la tabla periódica que tengan un potencial de ionización menor que el potencial de ionización del argón a concentraciones muy bajas (nanogramo/litro o parte por trillón, ppt). Se basa en el acoplamiento de un método para generar iones (plasma acoplado inductivamente) y un método para separar y detectar los iones (espectrómetro de masas). Contiene **sistema de introducción de muestra:** consiste de una bomba peristáltica, nebulizador y cámara de rocío. Provee el medio para que la muestra ingrese al instrumento. **Sistema de antorcha ICP:** genera el plasma, el cual sirve

como la fuente de iones del ICP - MS. Convierte los átomos en iones. **Interfase:** acomoda la presión atmosférica a la que se encuentra la fuente de iones ICP al alto vacío en que se encuentra el espectrómetro de masa. **Sistema de vacío:** proporciona el alto vacío para la óptica iónica, el cuadrupolo y el detector. **Lentes iónicos:** enfocan a los iones dentro de un haz para su transmisión dentro del cuadrupolo. **Cuadrupolo:** actúa como un filtro de masa para ordenar a los iones por su relación masa a carga (m/z). **Detector:** cuenta a los iones individuales que pasan a través del cuadrupolo. **Sistema de control y manejo de datos:** controla todos los parámetros del instrumento y el manejo de datos hasta la obtención de los resultados de la concentración final. Finalmente, su campo de aplicación es en **medio ambiente:** calidad de aguas potables, caracterización de residuos tóxicos, contaminación de aguas, control de contaminación atmosférica, caracterización de suelos, especiación de contaminantes y en ciencia y tecnología de alimentos: control de materias primas, contaminación y control de toxicidad, migración elemental desde envases, control de calidad de productos manufacturados.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Hidroponía: la hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. Seguidamente se presenta una lista de materiales que pueden ser empleados como sustratos (Sylvia, 1997) citado por (Gilsanz, 2012).

2.3.2. Lechugas: la lechuga es una hortaliza que se consume todo el año, es una fuente de vitaminas y agua con muy pocas Kcal (kilo calorías). El 92 % de su estructura es agua, entre sus propiedades destaca su facultad para combatir el insomnio, alteraciones nerviosas y la acidez estomacal. Es un elemento básico para elaborar diversos platillos (Agrícola, 2019).

2.3.3. Plomo: el plomo es uno de los metales que desde hace más tiempo conocieron y emplearon los hombres, tanto por lo mucho que abunda en la tierra como por su facilidad para fundirse y pertenece al grupo de elementos metálicos conocido como metales del bloque "p", se encuentra en el grupo 14, periodo 6 de la tabla periódica, serie química metales del bloque p. Su estado ordinario es sólido, número atómico es 82, masa atómica 207,2 u, densidad de 11340 kg/m^3, punto de fusión 600,61 K (327°C), punto de ebullición de 2022 K (1749 °C), presión de vapor de 4,21 x 10^{-7} Pa. a 600 °K y una densidad relativa de 11,4 a 16 °C (Llanos, 2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Química Ambiental 1E – 207 del Departamento Académico de Ciencias Químicas y Dinámicas de la Universidad Nacional de Cajamarca además de la instalación del proyecto que fue en el IESTP CEFOP – Cajamarca.

3.1.1. Coordenadas geográficas

Latitud: 7° 9´58,46” S

Longitud: 78°29´20,42” O

Altitud: 2671 m.s.n.m

3.1.2. Ubicación política

Dirección: Carretera Baños del Inca km 3,5

Distrito: Baños del Inca

Provincia: Cajamarca

Región: Cajamarca

3.2. Población, muestra y unidad de análisis.

3.2.1. Población

Todas las lechugas cultivadas en medios hidropónicos, en el invernadero de la IESTP CEFOP – Cajamarca.

3.2.2. Muestra

Las 16 muestras de lechuga tomadas al azar de las diferentes bandejas de cultivada en medios hidropónicos con 3 diferentes concentraciones de plomo más un testigo.

3.2.3. Unidad de análisis

Lechuga, la cual fue cultivada en medio hidropónico a raíz flotante y la cantidad dependió del total de plantas cultivadas en cada una de las bandejas en el invernadero

y se hizo un muestreo de cada lechuga bien identificada la cual se llevó al laboratorio SGS- Perú S.A.C. en el Jr. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 – Perú, Lima para ser analizado y saber cuál es la cantidad de plomo acumulado en la hoja de lechuga al final de la siembra.

3.3. Método de la investigación

La metodología fue del tipo aplicada con diseño experimental, se hizo con un diseño completamente al azar (DCA), las lechugas fueron obtenidas del invernadero ubicado en el IESTP CEFOP – Cajamarca, en este invernadero existieron 144 plantas de lechuga génesis, para cosecharlo se observó el tamaño y el color de la misma, escogiendo al azar de diferentes bandejas sembradas en hidroponía a raíz flotante para tener la cantidad correcta y luego se realizó el análisis en el laboratorio acreditado SGS-Perú S.A.C. en el Jr. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 – Perú, Lima.

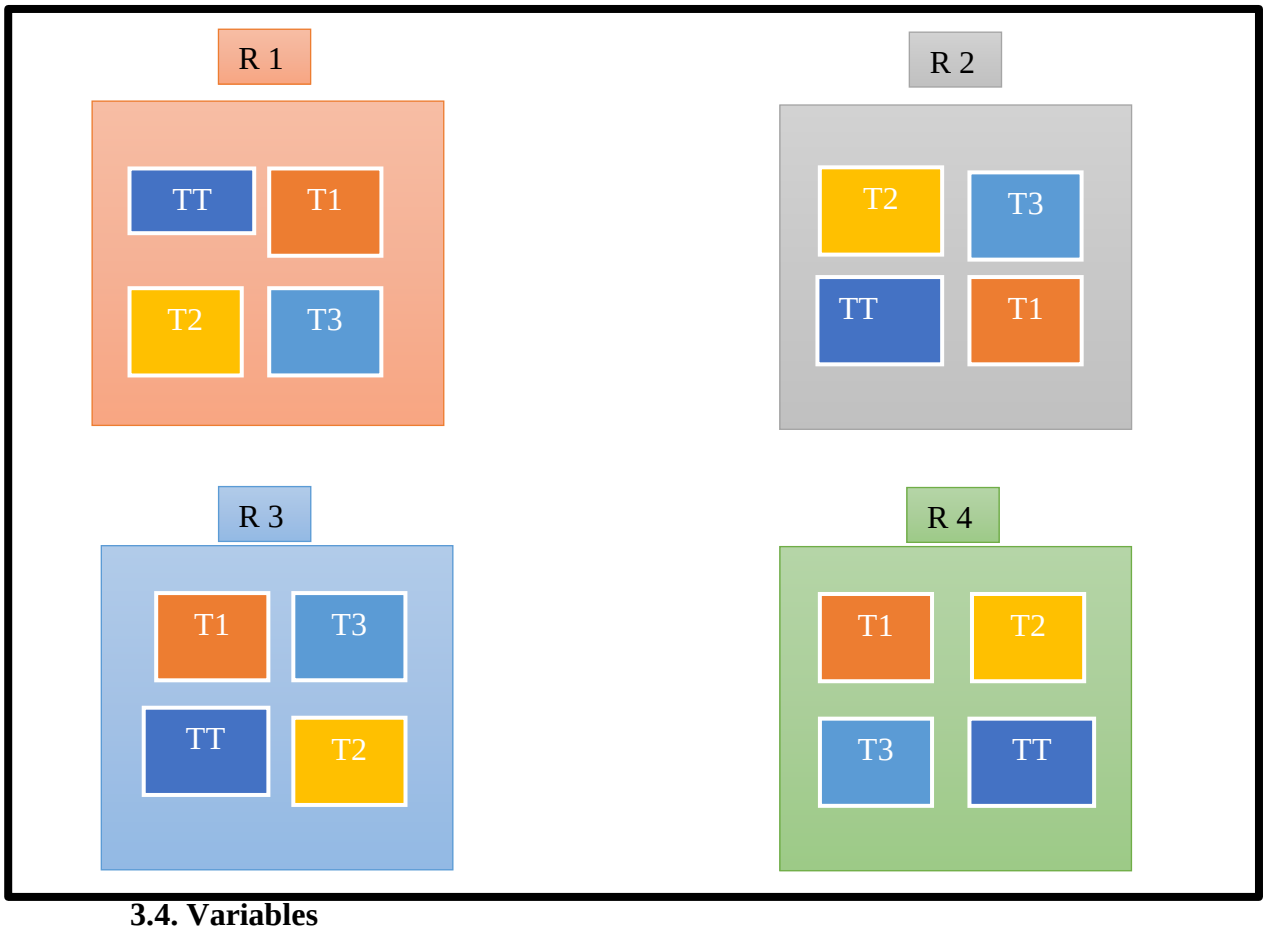
Tabla 4

Distribución de tratamientos

Número	Tratamiento	Concentración de plomo (mg/L)	Repeticiones
1	T1	0,05	4
2	T2	0,10	4
3	T3	0,15	4
4	**TT**	**0**	**4**

Nota. En la tabla 4 se muestra los 3 tratamientos con su control y sus concentraciones de plomo respectivas y la cantidad de repeticiones que se realizó por cada tratamiento.

Croquis del experimento



3.4. Variables

3.4.1. Variable dependiente

Aspectos de la hoja de lechuga

3.4.2. Variable independiente

Concentración de plomo en hojas de lechuga

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de información

3.5.1. Técnicas de recolección de información

A. Revisión bibliográfica

Se realizó desde el inicio y durante todo el proceso de proyecto de investigación, hasta el término de tesis.

B. Toma de datos. La toma de datos se realizó en la fecha establecida, que fue a los 45 días después de su trasplante, en donde se obtuvo el crecimiento óptimo de la lechuga génesis.

C. Observación. Se observó todo el crecimiento de las plantas con cada uno de los diferentes tratamientos y estos con sus diferentes repeticiones.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

A. Cuaderno de notas

Es el conjunto de hojas donde se registra toda la información escrita de la investigación, el cual permite al investigador tener un registro de todas las etapas de crecimiento de las lechugas.

B. Cámara fotográfica

Su uso es para poder registrar en imágenes todas las evidencias del proceso de aplicación de tesis desde un inicio hasta un fin.

C. Laptop

Donde se registra todo la documentación y cada avance de la tesis, adjuntando los anexos para su presentación final.

D. Impresora

En la cual se imprime toda la información recolectada y plasmada en el documento de tesis.

E. Medios de cultivos

Agua de pozo subterráneo 1, soluciones nutritivas A y solución nutritiva B

F. Análisis de laboratorio

Se realizó al final de todo el proceso, donde se analizaron 16 muestras en total.

3.6. Metodología

3.6.1. Análisis de agua

Antes del inicio del experimento se realizó el análisis del agua que se utilizó para el cultivo hidropónico de lechuga, para la determinación de la concentración de plomo en la misma, se tomó 1 litro de muestra y se llevó al Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, para el correspondiente análisis y después del cual el resultado obtenido fue de 0,004 0 mg/L.

Tabla 5

Informe del análisis del agua de agua subterránea de pozo del Cefop – Cajamarca

Parámetro	Unidad	Límite de Cuantificación del Método (LCM)	Resultados de metales totales
Plata (Ag)	mg/L	0,019 0	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0,023 0	0,047
Arsénico (As)	mg/L	0,005 0	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0,004 0	0,143
Berilio (Be)	mg/L	0,003 0	<LCM
Bismuto (Bi)	mg/L	0,016 0	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0,124 0	210,200
Cadmio (Cd)	mg/L	0,002 0	<LCM
Cerio (Ce)	mg/L	0,004 0	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0,003 0	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0,018 0	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0,023 0	0,026
Potasio (K)	mg/L	0,051 0	1,837

… continuación **tabla 5.**

Parámetro	Unidad	Límite de cuantificación del Método (LCM)	Resultados de metales totales
Litio (Li)	mg/L	0,005 0	0,009
Magnesio (Mg)	mg/L	0,019 0	12,030
Manganeso (Mn)	mg/L	0,003 0	0,009
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,002 0	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0,026 0	22,800
Niquel (Ni)	mg/L	0,006 0	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0,024 0	0,050
Plomo (Pb)	**mg/L**	**0,004 0**	**<LCM**
Azufre (S)	mg/L	0,091 0	41,130
Antimonio (Sb)	mg/L	0,005 0	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0,007 0	<LCM
Estaño (Sn)	mg/L	0,007 0	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/L	0,003 0	1,058
Titanio (Ti)	mg/L	0,004 0	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0,003 0	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0,004 0	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0,004 0	0.008
Zinc (Zn)	mg/L	0,018 0	<LCM
Silice (SiO_2)	mg/L	0,222 5	25,176

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas).

Nota. En la tabla 5 se muestra el informe del análisis del agua subterránea de pozo del Cefop – Cajamarca, en donde se aprecia la concentración de los distintos metales, observándose que la concentración de plomo es de **0,004 0 mg/L.**

3.6.2. Habilitación de invernadero

Se realizó antes de la instalación del experimento, donde se cortó la madera de una forma correcta, para posteriormente poder clavarla y que quede el armazón del invernadero. Posteriormente se habilitó el plástico Agrofil anti rayos UV (ultravioletas) calibre 8 μm para invernadero, el cual se colocó en el techo del armazón quedando todo este cubierto por dicho plástico y a los costados del invernadero se colocó malla anti áfida cubriendo casi por completo los costados del invernadero. Con ambos materiales el invernadero quedó cubierto, dejando un espacio en la cual se colocó la puerta llegando a una temperatura de 18 – 24 °C y una humedad relativa de 70 – 80 %.

3.6.3. Habilitación de tecnopor para la siembra

Plancha de tecnopor de 2 pulgadas de grosor, el corte se realizó con un cúter, dándole la forma de las bandejas de plástico, luego con la ayuda de un clavo de acero caliente se le fue haciendo los orificios para que ingrese el vaso en donde se colocó una planta de lechuga por cada orificio en el tecnopor.

3.6.4. Habilitación de esponja

Se midió la esponja de una pulgada de grosor en círculos de 2,5 cm de radio, luego se cortó con cúter, todos ellos fueron colocado en vasos de polipropileno de 5 onzas trasparentes, habilitados para la colocación de la planta de lechuga que fue sembrada en medios hidropónicos a raíz flotante.

3.6.5. Habilitación de las bandejas para la siembra.

Se colocó el agua con sus dos soluciones nutritivas, solución “A” y “B” (contiene nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel. En la solución nutritiva estos elementos están en forma de iones para que las plantas puedan tomarlos, ya que no puede absorberlos

en su forma elemental), el agua colocada fue de 33 litros por cada una de las bandejas haciendo un total de 132 litros de agua por tratamiento.

3.6.6. Nitrato de plomo

El plomo que se usó en el experimento se añadió en forma de sal, como nitrato de plomo (Pb $(NO_3)_2$).

3.6.7. Habilitación de las mangueras para la aireación

Se cortaron las mangueras transparentes a la medida de cada una de las bandejas y se realizó la colocación de uniones en forma de "t" en las tuberías para introducir una manguera dentro, en la cual se colocó la piedra de aireación en la punta, esta última homogeniza la aireación en toda la bandeja la cual contuvo el agua con soluciones nutritivas y el nitrato de plomo $[Pb(NO_3)_2]$ a su concentración correspondiente por cada tratamiento.

Se usó el equipo de aireación marca SEBO Aquarium air pump (The air output ajusted freely), SB – 948, el cual tuvo una capacidad de energía de 220 voltios y 4 pistones de salida de aire constante, en los cuales se instaló las mangueras y estas fueron colocadas posteriormente en las bandejas correspondientes a los 3 tratamientos más su control y sus 4 repeticiones, haciendo un total de 16 bandejas instaladas.

3.6.8. Obtención de plántulas.

Se desinfectó la carretilla y el plástico de invernadero con solución de hipoclorito de sodio a 5 mg/L, para luego combinarlo con cal agrícola, posterior a esto se sembró en sustrato (arena, tierra y humus de lombriz) las semillas de lechuga Genesis con una pureza de 95 %, germinación de un 85 %, durante un periodo de 15 - 20 días, luego se extrajo las plántulas, se lavaron y desinfectaron para trasplantarlo a los vasos con esponja y colocarlo al sistema hidropónico a raíz flotante en los diferentes tratamientos.

3.6.9. Preparación de la solución hidropónica.

Se colocó 1 litro de solución nutritiva “A” y 1 litro de solución “B”, las cuales están compuestas por sales como el carbono, oxigeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, manganeso, magnesio, hierro, boro, zinc, cobre, molibdeno, silicio diluido en 528 litros de agua, el cual fue utilizado en el sistema hidropónico a raíz flotante, en donde posteriormente fueron cultivadas las lechugas.

Preparación de la solución “A”. Se colocó 132 litros de agua en un recipiente por cada tratamiento luego se le añade 5 mL de solución por litro de agua; posteriormente se mide en una probeta de 250 mL, colocándole 2 probetas enrasadas y después 160 mL finales, haciendo un total de 660 mL de solución “A”, para los 132 litros de agua.

Preparación de la solución “B”. Se colocó 132 litros de agua en un recipiente por cada tratamiento luego se le añade 5 mL de solución por litro de agua; luego se mide en una probeta de 250 mL, colocándole 2 probetas enrasadas y después 160 mL finales, haciendo un total de 660 mL de solución “B” para los 132 litros de agua.

3.6.10. Instalación

Se distribuyeron los tratamientos en el invernadero de 3,5 m de lago por 2,5 metros de ancho y 1,80 de altura, haciendo un total de 8,75 m^2; en cada bandeja se colocó 33 litros de agua con solución nutritiva “A” y “B”; y la sal de nitrato de plomo a diversas concentraciones antes mencionadas, con 4 repeticiones donde se distribuyeron 3 tratamientos con concentraciones de plomo y el testigo, haciendo un total de 16 unidades experimentales (tratamientos), bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA).

3.6.11. Análisis a realizar

Para determinar cuánto de plomo se encontró en la hoja de lechuga, se envió al laboratorio SGS - Perú S.A.C. en el Jr. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 – Perú, Lima donde se realizó el respectivo análisis mediante Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente, técnica de naturaleza física que permitió determinar cualitativa y cuantitativamente las trazas de metales pesados.

3.6.12. Tratamiento y análisis de datos

Los datos adquiridos en la evaluación fueron ordenados adecuadamente en tablas manejadas en el programa de Excel, estos fueron clasificados y agrupados de acuerdo al análisis estadístico realizado. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe diferencias significativas entre los tratamientos (plomo en lechuga), además se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidad, esta prueba determinó la cantidad correcta de plomo en la lechuga para los diferentes tratamientos.

3.7. Hipótesis

El contenido de plomo absorbido por lechuga (*Lactuca sativa* L.), cultivada en medios hidropónicos con diferentes concentraciones de plomo, es mayor conforme aumenta la concentración de plomo del medio hidropónico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

Tabla 6

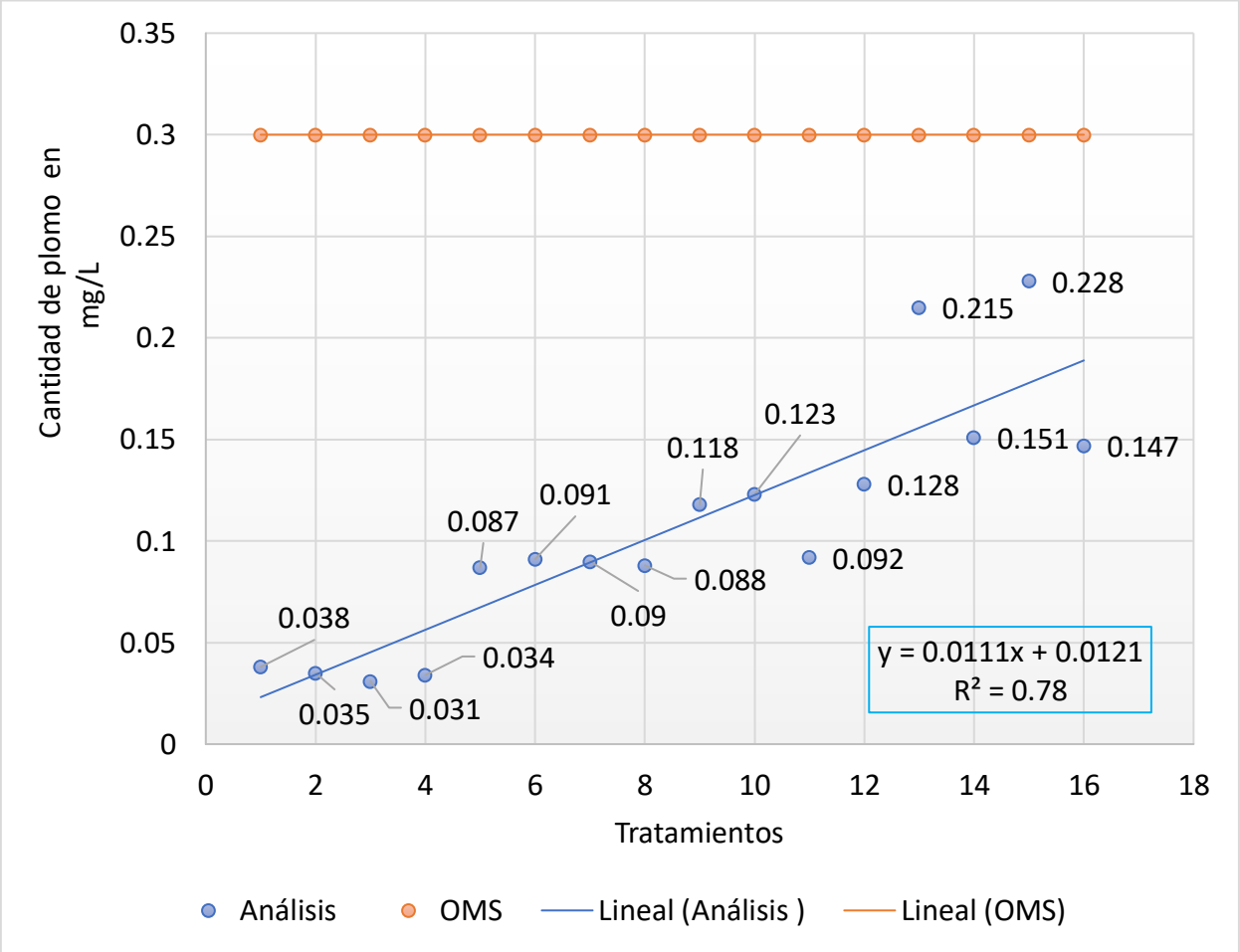
Resultados del laboratorio acreditado SGSS

Tratamiento	Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Foliar/ TTR1	Plomo	0,002	0,005	0,038	mg/L
Foliar/ TTR2	Plomo	0,002	0,005	0,035	mg/L
Foliar/ TTR3	Plomo	0,002	0,005	0,031	mg/L
Foliar/ TTR4	Plomo	0,002	0,005	0,034	mg/L
Foliar/ T1R1	Plomo	0,002	0,005	0,087	mg/L
Foliar/ T1R2	Plomo	0,002	0,005	0,091	mg/L
Foliar/ T1R3	Plomo	0,002	0,005	0,09	mg/L
Foliar/ T1R4	Plomo	0,002	0,005	0,088	mg/L
Foliar/ T2R1	Plomo	0,002	0,005	0,118	mg/L
Foliar/ T2R2	Plomo	0,002	0,005	0,123	mg/L
Foliar/ T2R3	Plomo	0,002	0,005	0,092	mg/L
Foliar/ T2R4	Plomo	0,002	0,005	0,128	mg/L
Foliar/ T3R1	Plomo	0,002	0,005	0,215	mg/L
Foliar/ T3R2	Plomo	0,002	0,005	0,151	mg/L
Foliar/ T3R3	Plomo	0,002	0,005	0,228	mg/L
Foliar/ T3R4	Plomo	0,002	0,005	0,147	mg/L

Nota. En la tabla 6 se muestra los resultados del análisis y determinación de metales por Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente del metal pesado plomo.

Figura 4

Resultados del análisis de plomo en los diferentes



Nota. En la figura 4 se muestra los 16 tratamientos con sus resultados obtenidos después del análisis de laboratorio SGS, los cuales se encuentran desde una menor cantidad obtenida que es 0,031 mg/L hasta el mayor que es 0,228 mg/L y con diferentes concentraciones de plomo aplicadas en comparación con los límites máximos permitidos (LMP) por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (0,3 mg/L).

El coeficiente de determinación (r^2 = 0,78) indica que el contenido de plomo en lechuga está dado en un 78 % de la variación de plomo en la lechuga se debe a la cantidad de plomo usada en el medio hidropónico mientras que el 22 % se debe al efecto de otras variables desconocidas.

Los resultados obtenidos de la concentración de plomo en lechuga con la investigación realizada se encuentran entre 0,031 mg/L hasta 0,228 mg/L de plomo en lechuga lo cual se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) brindados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) 0,3 mg/L lo que difiere con Ramos y Benel (2022), quienes en su estudio obtuvieron que la muestra M_1 alcanzó 6,484 mg/L de plomo; en su muestra M_2 2,159 mg/L de plomo; en su muestra M_3 2,322 mg/L de plomo; en su muestra M_4 2,531 mg/L de plomo y en su muestra M_5 0,659 mg/L de plomo superando a los LMP para hortalizas de hoja.

Tabla 7

Análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de plomo en la materia seca de la lechuga

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	0,000 688	3	0,000 229	0,377 264	0,771 7
Tratamientos	0,047 07	3	0,015 69	25,829 248	0,000 1
Error	0,005 467	9	0,000 607		
Total	0,053 224	15			

CV = 23,25 %

Nota. En la tabla 7 se aprecia el análisis de varianza, con los resultados de suma de cuadrados, sus grados de libertad cuadrado medio y F – calculado.

El análisis estadístico de los resultados reportados por el laboratorio acreditado de SGS mediante ANOVA, indica que el valor de significación (p-valor) asociado a la fuente de variación repetición es de 0,771 7. Este valor es superior al 0,05, lo que indica que no hay diferencias significativas entre las repeticiones del experimento, es decir, que el plomo obtenido en la metería seca de las lechugas son estadísticamente iguales en las cuatro repeticiones tiene similitud a lo obtenido por Sangurima (2018), tiene un valor p de 0,554 es mayor al nivel de significancia de 0,05, por lo que no rechaza su hipotesis nula y se acepta que

los promedios de la concentración de plomo en el follaje de la lechuga de cultivo abierto es igual que el promedio de invernadero.

Por otro lado, el p-valor correspondiente a la fuente de variación tratamientos es de 0,000 1. Este valor es menor que el 0,05, lo que implica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados. En otras palabras, los diferentes niveles de plomo en las soluciones nutritivas tuvieron un efecto significativo en el plomo encontrado en la materia seca de las lechugas, es decir, los tratamientos con diferentes concentraciones de plomo en las soluciones nutritivas sí tuvieron un efecto significativo en la absorción de plomo por las lechugas cultivadas en medios hidropónicos, mientras que

El coeficiente de variación (CV) fue del 23,25 %, el cual indica la variación promedio de plomo encontrado en la lechuga por cada tratamiento esta variación se puede deber a diversos factores como las prácticas agrícolas o las diversas condiciones climáticas variables dentro del invernadero.

Tabla 8

Prueba de Tukey para la concentración de plomo en la materia seca de la lechuga

Dosificación de plomo (mg/L)	**Plomo en lechuga (**mg/L**)**	**Agrupación**
0,15	0,185	A
0,10	0,115	B
0,05	0,089	B
0,00	0,035	C

´**Nota.** En la tabla 8 se aprecia la Prueba de Tukey para la concentración de plomo en la metería seca de la lechuga observándose que la concentración con mayor dosificación de 0,15 mg/L con promedio de 0,185 mg/L. Seguido de la concentración 0,10 y de 0,05.

Los resultados de la prueba de Tukey muestran que el grupo A contiene únicamente al tratamiento con la dosificación más alta de plomo (0,15 mg/L), que presentó el mayor nivel de

absorción de plomo por la lechuga (0,185 mg/L de materia seca). Este resultado se diferencia significativamente de los demás grupos.

El grupo B incluye los tratamientos con dosificaciones de 0,10 mg/L y 0,05 mg/L de plomo, que exhibieron niveles de absorción de 0,115 mg/L y 0,089 mg/L, respectivamente. Estos dos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí en cuanto a la absorción de plomo por la lechuga. Por último, el grupo C contiene únicamente al tratamiento control (0,00 mg/L de plomo), el cual mostró el nivel más bajo de absorción de plomo (0,035 mg/L).

Estos resultados indican que, a medida que aumenta la concentración de plomo en la solución nutritiva, se incrementa su disponibilidad y, por lo tanto, la probabilidad de que sea absorbido por las raíces de la lechuga. Esto explica por qué el tratamiento con la dosis más alta de plomo (0,15 mg/L) mostró los niveles más elevados de absorción de este metal, difiere con Regalado y Ferrer (2024), quienes en su investigación sobre *"Determinación de la presencia de metales pesados en Lactuca sativa, Spinacia oleracea y Coriandrum sativum expendidos en el Mercado Mayorista la Perla"*, tuvieron como resultado que la concentración de plomo en lechuga, supera el limite máximo permisible de la Organización Mundial de la Salud 0,3 mg/L de plomo en hortalizas de tallo, con una concentración de 1,758 mg/L en el área de hortalizas con un aumento del 486 %, el área de huaracinos tuvo una concentración de 0,941 mg/L con un aumento del 213 % y en el área mixta con una concentración de 1,721 mg/L con un aumento del 473 %.

Por otra parte, los tratamientos con dosis intermedias de plomo (0,10 mg/L y 0,05 mg/L) no presentaron diferencias significativas entre sí, lo que indica que, a partir de cierta concentración, la absorción de plomo puede alcanzar un nivel de saturación o estar limitada por otros factores, como la capacidad de transporte y distribución dentro de la planta.

Contrastación de hipótesis

De acuerdo al análisis estadístico se acepta la hipótesis ya que se puede apreciar que mientras mayor es la concentración de plomo en el medió hidropónico mayor es la cantidad de este que se acumula en la planta de lechuga. Dando como resultado lo siguiente concentración de plomo en el medio 0,15 mg/L con promedio acumulado es de 0,185 mg/L en la lechuga, seguido de 0,10 mg/L con promedio acumulado de 0,115 mg/L en la lechuga, después 0,05 mg/L con promedio de 0,089 mg/L en la lechuga y finalmente 0,004 0 mg/L con promedio de 0,035 mg/L en la lechuga.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se pudo encontrar que las concentraciones más altas en el medio hidropónico resultaron en una mayor concentración de plomo en la hoja de lechuga, lo cual representa un riesgo potencial para la seguridad alimentaria, donde con una concentración de plomo de 0,05 mg/L después de 45 días dio como resultado el 0,087 mg/L para el T1R1; 0,091 mg/L para el T1R2; 0,090 mg/L para el T1R3 y 0,088 mg/L para el T1R4; con una concentración de plomo de 0,10 mg/L lo que se obtuvo como resultado después de 45 días fue 0,118 mg/L para el T2R1; 0,123 mg/L para el T2R2; 0,092 mg/L para el T2R3 y 0,128 mg/L para el T2R4; y finalmente con una concentración de plomo de 0,15 mg/L después de 45 días, donde se obtuvo los siguientes resultados de laboratorio, 0,215 mg/L para el T3R1; 0,151 mg/L para el T3R2; 0,228 mg/L para el T3R3 y 0,147 mg/L para el T3R4.

Por lo tanto, este estudio subraya la necesidad de monitorear la calidad de agua y los medios hidropónicos utilizados en el cultivo para de esta manera evitar la contaminación por metales pesados, en especial a las hortalizas de hoja que son de consumo humano directo.

Recomendaciones

En futuros trabajos de investigación se recomienda un monitoreo constante de las concentraciones de plomo en los diferentes medios hidropónicos asegurando una distribución homogénea y correcta de este elemento en las soluciones nutritivas, además de constantes análisis a diferentes tiempos y fases de la planta tanto del agua como en los niveles de plomo acumulado en raíces, hojas y tallos de la lechuga.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

Afán, R. K., & Flores, R. V. (2018). Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico. *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017.* Universidad Norbert Wiener, Lima.

Autoridad Nacional del Agua y el Ministerio de Agricultura y Riego. (2009). *Ley de los Recursos Hídricos (Ley N° 29338).* (C. D.-S.-5.-5. ©Autoridad Nacional del Agua, Ed.) Lima: Zuna Printing EIRL.

Avalos, R. Y. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigaciones Universidad Le Cordon Bleu (ULCB),* 61-63.

Bosques, V. J. (2010). *Curso Básico de Hidroponía.* Capá - Moca.

Buda, T. (2021). Las semillas son la base de la alimentación humana. *Galassi Sementi*, 28 - 30.

Colos, C. M., & Flores, N. A. (2022). Tesis para optar el título profesional de químico farmacéutico. *Determinación de plomo, cadmio y arsénico en lechuga (Lactuca sativa) expedidos en el mercado Unicachi, Comas, en el periodo Agosto 2021.* Universidad Privada de Huancayo "Franklin Rooselvet", Huancayo - Perú.

Condor, N. D., & Romero, U. F. (2023). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. *Desarrollo de la lechuga (Lactuca sativa L.) por hidroponía con diferentes soluciones nutritivas.* Univeridad Nacional del Centro del Perú, Tarma - Perú.

Cruzco, A. E., Rivilla, A. A., Mora, E. F., & León, R. R. (2023). Proyecto de ciencia. *Acondicionamiento para la elaboración de huertos escolares para la siembra de lechugas (lactuca sativa) para el desarrollo autosustentable del comedor del Liceo Nacional Wadaka Tepuy, en Santa Elena de Uairén Edo-Bolivar, en el año escolar 2022 - 2023.* Santa Elena de Uairén Edo-Bolivar, Santa Elena de Uairén.

De La Cruz, G. E. (2015). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Zootecnista. *Optimización del tiempo de aplicación de soluciones hidropónicas en el agua de riego en la producción de germinado hidropónico de cebada (Hordeum vulgare).* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque - Perú.

Decreto Supremo 004-2017-MINAM. (2017). Disposiciones Complementarias. *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.* Ministerio del Ambiente - Dirección General de Calidad Ambiental, Lima - Perú.

FAO. (2003). Curso Audiovisual. *La Huerta Hidropónica Popular*. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación, Santiago - Chile.

García, V. D., Barceló, C. J., & Gunsé, F. B. (2007). Trabajo de Investigación. *129 p, 743.2 KB Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays L. expuestas a la toxicidad por plomo.* Universitat Autónoma de Barcelona. Departament de Biología Animal, de Biologia Vegetal i d'Ecologia, Barcelona.

Gilsanz, J. C. (2007). *Hidroponía.* Montevideo - Uruguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay. Obtenido de http://www.inia.org.uy

Gilsanz, J. C. (2012). *Hidroponía.* Montevideo - Uruguay: Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes 1365, Piso 12.

Guzmán, M. A., Cruz, L. P., Valdéz, C. R., & Valdéz, H. P. (2021). Evaluación de la contaminación por metales pesados y su acumulación en plantas de lechuga (Lactuca sativa L.). *Ministerio de Educación Superior. Cuba Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)*, Cultivos Tropicales, 2021, vol. 42, no.4, e03; ISSN impreso: 0258-5936 y ISSN digital: 1819-4087. .

INIA. (2012). *Hidroponía.* Montevideo - Uriguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología, Andes 1365, Piso 12.

INIA. (2017). *Hidroponia.* Montevideo - Uruguay: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay Página Web: http://www.inia.org.uy.

INIA. (2017). Manual de Producción de Lechuga. *Boletín INIA /N°09.* Instituto de investigación Agropecuaria, Santiago - Chile.

INIA. (2017). *Manual se produccion de lechuga.* Santiago - Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Fidel Oteíza 1956, Piso 11,Providencia, Santiago. Teléfono: +56-2 25771000.

INTA, S. (2020). Hidroponía, sus ventajas y desventajas. *El Semiarido (Información Agropecuaria de San Luis y la Región)*, 1-3.

Llanos, V. J. (2021). Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Magister en Ciencias Ambientales. *Metales pesados en suelos bajo la influencia de la minería aurífera en los departamentos de Antioquia, Bolívary Choco.* Sistema de Universidades Estatales del Caribe Colombia Sue - Caribe, Montería.

López, B. M., & Frezza, D. (2022). *Lechuga.* Buenos Aires: Ediciones INTA, 2022 83 p. : il. (PDF) - ISBN 978 - 987 - 679 - 346 - 9 (dIgital).

López, E. J. (2018). Artículo científico. *La producción hidropónica de cultivos.* Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

Lopez, T. H. (2020). Trabajo de investigación para el curso de análisis instrumental. *La espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente ICP - MS.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Oxapampa.

Madueño, F. M. (2017). Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana. *Tesis.* UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCO, Lima - Perú.

Martinez, P. A. (16 de Setiembre de 2015). *Biología Vegetal*. Obtenido de Cultivo Hidropónico: https://biologiavegetaluv.wordpress.com/2015/09/16/cultivo-hidroponico/

MGAP. (2018). Hidroponía. *Boletin.* Ministerio de Ganaderia, Agricultura y Pesca, Uruguay.

MIDIS. (2024). Reporte de indicadores sociales de Cajamarca. *Reporte de indicadores sociales de Cajamarca.* Dirección General de Seguimiento y Evaluación - DGSE - MIDIS (Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social), Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Ministerio de Salud [MINSA]. (1969). *Ley general de aguas: Decreto Ley Nº 17752 del 24 de julio 1969.* Lima - Perú : MINSA.

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (07 de junio de 2017). *Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* Lima: MINAM.

Pertierra, L. R., & Quispe, G. J. (2020). Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, vol. 31, núm. 1, pp. 118-130, 2020.

Prieto, M. J., Gonzáles, R. C., Román, G. A., & Prieto, G. F. (2009). Artículo científico. *CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA.* Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5. C. P. 42076. Hidalgo. México.

Ramos, V. B., & Aldana, Z. C. (2022). Tesis Para optar el título profesional de Ingeniera Química. *Evaluación de la concentración por bioacumulación de arsénico y plomo en rabanito (Raphanus sativus) y lechuga (Lactuca sativa L.) procedentes de Pacora-Lambayeque.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Pacora - Lambayeque.

Ramos, V. B., & Benel, Z. C. (2022). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. *Evaluación de la concentración por bioacumulación de arsénico y plomo en rabanito (Raphanus sativus) y lechuga (Lactuca sativa L.) procedentes de Pacora-Lambayeque.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque - Perú.

Regalado, P. C., & Ferrer, S. D. (2024). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. *Determinación de la presencia de metales pesados en Lactuca sativa, Spinacia oleracea y Coriandrum sativum expendidos en el Mercado Mayorista la Perla.* Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú.

Robles, U. M. (2024). Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana. *JournalofAmericanhealth*, 6-8.

Saldaña, R. E. (2024). Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en ciencias Mención Gestión Ambiental. *Relación entre la concentración de plomo en suelo y el valor de*

sus factores de bioconcentración y traslocación en planta de lechuga (Lactuca sativa L.). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Salinas, T. C. (2013). Trabajo de investigación estructurado de manera independiente como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo. *Introducción de 5 variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en el barrio Santa Fe de la parroquia Atahualpa en el Cantón Ambato.* Universidad Técnica de Ambato, Ambato - Ecuador.

Sangurima, B. M. (2018). Trabajo de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. *Determinación de concentraciónes de plomo, en cultivos de lechuga en la parroquia San Joaquin.* Universidad Católica de Cuenca, Matriz Cuenca.

Solís, M. F., Sahagún, C. J., Villanueva, V. C., Colinas, L. M., & García, M. M. (2012). Artículo científico. *Distribución de biomasas y acumulación de plomo en calabacita (Cucurbita pepo L.) cultivada en suelo contaminado.* Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo - México.

Valle, L. A. (2021). Trabajo de titulación Tipo: Proyecto de Investigación para optar al grado académico de Ingeniero Agrónomo. *Eficiencia de tres soluciones nutritivas mediante Hidroponía a raíz flotante en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.) var. Crispa en Invernadero.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador.

Vásquez, J., Sangurima, C., & Alvarez, V. M. (2019). Tesis. *Bioacumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater white-toothed shrew, Crocidura russula, from the Ebro Delta (NE Spain): sex-and age-dependent variation.* Enviromental Pollution, España.

Zárate, A. M. (2014). *Manual de Hidroponía.* México, Distrito Federal: Instituto de Biología www.ibiología.unam.mx.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Figura 5

Toma de muestra de agua subterránea CEFOP Cajamarca

Figura 6

Colocación de reactivo para análisis

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231273

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	**EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO**		
Dirección	-		
Persona de contacto	**EDWIN RAFAEL RUIZ MOLOCHO**	Correo electrónico	ruizmedwin@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	**05.10.23**	Hora de Muestreo	**09:45**
Responsable de la toma de muestra	**Cliente**	Plan de muestreo N°	**-**
Procedimiento de Muestreo	**-**		
Tipo de Muestreo	**Puntual**		
Número de puntos de muestreo	**01**		
Ensayos solicitados	**Químicos Instrumentales**		
Breve descripción del estado de la muestra	**Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**		
Referencia de la Muestra:	**Baños del Inca- Cajamarca**		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	**SC-355**		Cadena de Custodia	**CC - 1273 - 23**	
Fecha y Hora de Recepción	**05.10.23**	**10:29**	Inicio de Ensayo	**13.10.23**	**09:30**
Reporte Resultado	**16.10.23**	**16:15**			

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

FIRMA DIGITAL CAJAMARCA

Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 20453744168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16/10/2023 06:02 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 16 de Octubre de 2023

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140.

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231273

ENSAYOS			Químicos Instrumentales					
Código de la Muestra			Pozo 1	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			10231273-01	-	-	-	-	-
Matriz			Natural	-	-	-	-	-
Descripción			Subterránea- de Pozo	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			CEFOP	-	-	-	-	-
Parámetro	**Unidad**	**LCM**	**Resultados de Metales Totales**					
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	0.047	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.143	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	210.200	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	0.026	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	1.837	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.009	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	12.030	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.009	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	22.800	-	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.050	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	41.130	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	11.770	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.058	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.008	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	-	-	-	-	-
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	25.176	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 16 de Octubre de 2023

V° B°

Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de conformidad
Fecha: 16/10/2023 06:02 p.m.

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231273

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, SiO2, Sn, Sr, Tl, Ti, U, V, Zn)	*mg/L*	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado-Modificado) 2020.Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
(°) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.
✓Se prohibe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 16 de Octubre de 2023

V° B°

Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de conformidad
Fecha: 16/10/2023 06:02 p.m.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Figura 7

Compra de lechuga génesis

Figura 8

Siembra de lechuga en humus de lombriz

Figura 9

Germinación de semillas

Figura 10

Crecimiento de semillas

Figura 11

Pesaje del nitrato de plomo (T1)

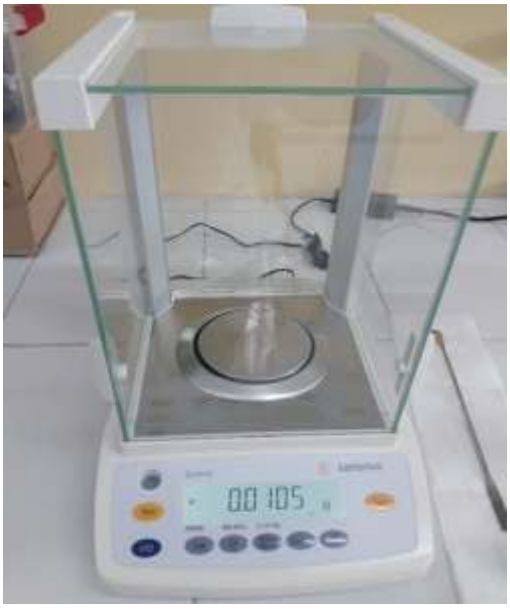


Figura 12

Pesado del nitrato de plomo en recipientes.

Figura 13

Lavado y desinfectado de bandejas

Figura 14

Medición de la solución A

Figura 15

Medición de la solución B

Figura 16

Colocación de nitrato de plomo

Figura 17

Desinfección de plántulas

Figura 18

Trasplante de las plántulas en vaso y esponja

Figura 19

Plantas trasplantadas en cada uno de los tratamientos y sus repeticiones

Figura 20

Planta adaptada al medio hidropónico

Figura 21

Planta con pérdida de color verde

Figura 22

Planta desarrollada con bordes blancos

Figura 23

Planta para cosecha con pérdida del color

Figura 24

Planta con algunas hojas decoloradas.

Figura 25

Planta con hojas diferentes

Figura 26

Planta con crecimiento de forma vertical

INFORME DE ENSAYO
AG2415653 Rev. 0

Ensayo solicitado por el cliente: RUIZ MOLOCHO EDWIN RAFAEL

Solicitud de Ensayo:	239826-1	**Cantidad Muestras:**	16
Descripción del Laboratorio:	VEGETALES-LECHUGA	**Fecha de Recepción:**	13/05/2024
Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA	**Fecha de Ensayo:**	Del 17/05/2024 Al 18/05/2024
Detalles de la recepción:	EN BOLSA PLASTICA	**Fecha de Emisión:**	18/05/2024

Información del cliente:

MUESTRAS RECIBIDAS

FECHA DE MUESTREO: 11-05-2024
CULTIVO: LECHUGA
VARIEDAD: GENESIS
CULTIVO HIDROPÓNICO A RAÍZ FLOTANTE
MUESTREADOR: EDWIN RUIZ

Ensayo	Método
Determinación de Metales por Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente	ANA-DR-H&N.480 based on AOAC Official Method 2015.01

CUADRO DE RESULTADOS

Descripción del cliente: FOLIAR / TT R1

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.038	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T3 R3

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.228	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T3 R2

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.151	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T1 R2

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.091	mg/Kg

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C. las cuales se encuentran descritas en la página http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Descripción del cliente: FOLIAR / T1 R3

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.090	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / TT R4

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.034	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T3 R1

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.215	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / TT R3

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.031	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T1 R1

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.087	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / TT R2

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.035	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T2 R3

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.092	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T2 R1

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Descripción del cliente: FOLIAR / T2 R1

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.118	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T2 R4

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.128	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T3 R4

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.147	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T2 R2

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.123	mg/Kg

Descripción del cliente: FOLIAR / T1 R4

Parámetro	L.D.	L.C.	Resultado	Unidad
Plomo	0.002	0.005	0.088	mg/Kg

Notas:
L.D. = Límite de Detección.
L.C. = Límite de Cuantificación.

Eladio Máximo Muñoz Contreras
C.B.P. 01516
Supervisor Lab Prod Orgánicos

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C. las cuales se encuentran descritas en la página http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

FICHA TÉCNICA DE SOLUCIÓN NUTRITIVA "A"

Macronutrientes	Nitrógeno(N), Fósforo (P) y Potasio (K)
Productos usados	Nitrato de potasio (KNO_3) Soluble en agua, amoniaco y glicerol.
	Nitrato de amonio (NH_4NO_3) muy soluble en agua y altamente higroscópico.
	Fosfato monopotásico (KH2PO4) Soluble en agua
Aspecto	Líquido (color rojizo)
Preparación	Para preparar la solución nutritiva primero agite el envase y diluya la cantidad siguiente: • Para verduras de hoja, pepino, pimiento y berenjena y crecimiento vegetativo: 5 ml por cada litro de agua seguidamente remueva bien. • Para brotes: 2,5 - 5 ml por cada litro de agua seguidamente remueva bien.

FICHA TÉCNICA DE SOLUCIÓN NUTRITIVA "B"

Macroelementos	Magnesio (Mg), Azufre (S), Potasio (K)
Microelementos	Quelado por EDDHA (EDDHA o ácido N, N′-etilendiamino-bis(2-hidroxifenil) acético): Hierro (Fe) quelado por EDTA: Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo).
Descripción	En esta solución añadimos más potasio porque la cantidad proporcionada en el frasco A no es suficiente. La cantidad de hierro es mayor a la de otras soluciones por eso la solución nutritiva va ser más oscura y densa. Lo más importante en nuestra formulación es que todos los micro elementos los proporcionamos debidamente quelados. Al estar quelados los micronutrientes en agua sin minerales garantiza que los micronutrientes van a estar protegidos y disponibles para que las raíces absorban los iones. Los productos utilizados en la formulación son: Quelato de Hierro, Sulfato de Manganeso, Ácido Bórico, Sulfato de Zinc, Sulfato de Cobre, Molibdatos de Amonio y Agente Quelante EDTA.
Productos utilizados	Sulfato de Magnesio ($MgSO_4$)
	Quelato de Hierro ($C18H16N2O6NaFe$)
	Sulfato de Manganeso ($MnSO_4$)
	Ácido Bórico (H_3BO_3)
	Sulfato de Zinc ($ZnSO_4$)
	Sulfato de Cobre ($CuSO_4$)
	Molibdatos de Amonio ($(NH4)6Mo7O24$)
	Agente Quelante EDTA.
Aspecto	Líquido ligeramente espeso de color oscuro
Preparación	Para preparar la solución nutritiva primero agite el envase y diluya la cantidad siguiente: • Para verduras de hoja y pepino, pimiento y berenjena crecimiento vegetativo: 2 ml por cada litro de agua seguidamente remueva bien. • Para brotes: 1 ml por cada litro de agua seguidamente remueva bien.