UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL INCREMENTO DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, BIOMASA AÉREA Y RESIDUO DE ANTIBIÓTICO POR MEDIO DE LA HORMESIS CON CIPROFLOXACINO EN LECHUGA *(Lactuca sativa)* HIDROPÓNICA

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. NOEMI MAMANI CONDORI

ASESOR:

DR. FRANZ ZIRENA VILCA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CIENCIAS AMBIENTALES - CONTAMINANTES ORGÁNICOS Y AMBIENTE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA UNAM FEDATARIO

Folio Nº 069

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Consejo de Facultad Nº 150-2025-CF-FAIN-UNAM

Fecha: 24/09/2025

III. El jurado ha dictaminado la (el) tesis, TITULADO:

Evaluación del incremento de polifenoles, capacidad antioxidante, biomasa aérea y residuo de antibiótico por medio de la hormesis con ciprofloxacino en lechuga (Lactuca sativa) hidropónica

Bachiller: Noemi Mamani Condori

Asesor Principal: Dr. Franz Zirena Vilca

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: aprobado por unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: dieciséis (16) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 13:30 horas, del 24 de setiembre del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Edgar Virgilio Bedoya Zuñiga
Presidente

Juan Luis Camapaza Aguilar
Primer Miembro

Nilton Beltrán Rojas Bricaño
Segundo Miembro

Noemi Mamani Condori
Bachiller

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarme dirección
y fortaleza; a mi familia por su apoyo incondicional;
a mis amigos y compañeros por su presencia
constante; y a mi asesor por su guía
y la confianza depositada en mí.

❤️«Dios está contigo para liberarte»❤️
(Jeremías 1:8 💮)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por darme la fuerza y la perseverancia para llegar a este momento culminante de mi vida. A mi familia, por ser mi pilar constante, por su amor incondicional, su apoyo firme y por sostenerme con esperanza incluso en los momentos más difíciles. A mi Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme la formación académica, el espacio de crecimiento y los valores que hoy me acompañan como futura profesional. A mis docentes, por compartir generosamente su conocimiento, por su exigencia oportuna y por acompañarme durante mi etapa de estudiante.

Con especial gratitud, expreso mi sincero reconocimiento a mi asesor, Dr. Franz Zirena Vilca, por su constante apoyo y orientación a lo largo de este proyecto. Su experiencia, consejos y paciencia fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al Proyecto de investigación "Hidroponía fortalecida: Aumentando la cantidad de polifenoles y su capacidad para proteger contra el oxidante en cultivos mediante el uso de antibióticos", aprobado mediante Resolución de Comisión Organizadora N.° 181-2024-UNAM-CO, por el respaldo y las facilidades brindadas. Asimismo, agradezco al Proyecto de PROCIENCIA "Potenciando la Ciencia Ambiental en Perú: Adquisición de un Espectrómetro de Masas Triple Cuadrupolo (MS/MS) para Investigar la Dinámica de Contaminantes Orgánicos en el Agua de Riego y Cultivos de Exportación", aprobado mediante Resolución RDE N.° 062-2023-PROCIENCIA-DE y con Contrato N.° PE501086021-2023-PROCIENCIA-BM, por haber permitido el uso del espectrómetro de masas donde se realizaron los análisis de esta investigación.

Extiendo mi agradecimiento a los profesionales que me abrieron las puertas de sus laboratorios y compartieron su conocimiento, así como a mis amigos y compañeros, por su compañía, paciencia y apoyo incondicional durante todo este camino.

RESUMEN

Esta investigación evaluó el efecto del Ciprofloxacino (CIP) sobre la biomasa y los parámetros bioquímicos asociados a la respuesta antioxidante de la lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en un sistema hidropónico. El estudio se desarrolló en la Universidad Nacional de Moquegua – Filial Ilo, bajo condiciones controladas, utilizando soluciones nutritivas comerciales diluidas en agua osmotizada (1:4:4 v/v/v). Se aplicaron dos modalidades de tratamiento: radicular (0, 1, 5 y 10 µg/L de CIP) y foliar (0, 5 y 10 µg/L de CIP), en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con repeticiones. Los resultados mostraron que la aplicación de CIP incrementó significativamente la biomasa aérea fresca de la lechuga en función de la dosis. La mayor respuesta se observó con 10 µg/L, registrando aumentos del 126,47 % en aplicación foliar y 30,87 % en aplicación radicular respecto al control. En cuanto al contenido de compuestos fenólicos totales, se evidenció un incremento progresivo con la concentración de CIP, alcanzando hasta 97,30 % (radicular) y 29,3 % (foliar) a 10 µg/L. Las dosis intermedias (1 y 5 µg/L) también mostraron incrementos significativos del 31,07 % y 31,95 %, respectivamente. Por otro lado, la capacidad antioxidante no presentó diferencias estadísticas significativas; sin embargo, se observó una tendencia creciente, destacando incrementos del 12,38 % (radicular) y 33,4 % (foliar) a 10 µg/L. En cuanto al contenido residual de CIP en el tejido vegetal, no se encontraron diferencias significativas entre las dosis, aunque se identificó una tendencia inversa a la concentración, con mayores retenciones a bajas dosis.

Palabra clave: Biomasa, Ciprofloxacino, metabolitos secundarios, compuestos fenólicos, hidroponía, Lechuga (*Lactuca sativa)*

ABSTRACT

This research evaluated the effect of ciprofloxacin (CIP) on biomass and biochemical parameters associated with the antioxidant response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in a hydroponic system. The study was conducted at the National University of Moquegua – Ilo Branch, under controlled environmental conditions, using commercial nutrient solutions diluted in osmotized water (1:4:4 v/v/v). Two treatment modalities were applied: root application (0, 1, 5, and 10 µg/L of CIP) and foliar application (0, 5, and 10 µg/L of CIP), arranged in a Completely Randomized Design (CRD) with replications. Four variables were assessed: fresh aerial biomass, total polyphenol concentration, antioxidant capacity, and residual CIP content in plant tissue. Results showed that the 10 µg/L dose significantly increased fresh aerial biomass by 30.89% (root application) and 60.7% (foliar application) compared to the control. Likewise, total polyphenols increased up to 96.91% (root) and 29.3% (foliar). In contrast, antioxidant capacity and CIP residues in tissues did not show significant differences compared to the control. These findings suggest that low concentrations of CIP may exert a bio-stimulatory effect in hydroponic lettuce, providing novel evidence on the physiological and biochemical response of lettuce to ciprofloxacin exposure.

Keywords: Biomass, Ciprofloxacin, Secondary metabolites, Phenolic compounds, Hydroponics, Lettuce *(Lactuca sativa)*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **1**

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **2**

1.1 Descripción y formulación del problema 2

1.1.1 Interrogante general 4

1.1.2 Interrogantes específicas 4

1.2 Objetivos 4

1.2.1 Objetivo general 4

1.2.2 Objetivos específicos 5

1.3 Justificación 5

1.4 Importancia 5

1.5 Hipótesis 6

1.5.1 Hipótesis general 6

1.5.2 Hipótesis específicas 6

1.6 Variables 7

1.6.1 Variable independiente 7

1.6.2 Variables dependientes 8

1.6.3 Variables intervinientes 8

II. MARCO TEÓRICO **9**

2.1 Antecedentes del problema 9

2.1.1 Antecedentes internacionales 9

2.1.2 Antecedentes nacionales 10

2.2 Bases teóricas 11

2.2.1 Antibiótico y Ciprofloxacino 11

2.2.2 Absorción de fármacos en plantas hidropónicas 12

2.2.3 Resistencia bacteriana en lechugas hidropónicas 13

2.2.4 Mejoras con bioinsumos en hidroponía 13
2.2.5 Estadísticas clave sobre el cultivo de Lechuga 14
2.2.6 Metabolismo de antibióticos en el organismo humano..... 14
2.2.7 Presencia de contaminantes emergentes en PTARs 16
2.2.8 Respuestas fisiológicas de las plantas a los antibióticos..... 18
2.2.9 Cultivo de lechuga (Lactuca sativa)..... 19
2.2.10 Instrumentos normativos y gestión ambiental en relación al CIP 20
2.3 Definición de términos..... 21
2.3.1 Fluoroquinolonas..... 21
2.3.2 Hormesis..... 21
2.3.3 Capacidad antioxidante 21
2.3.4 Factores estresantes ambientales 22
2.3.5 Estresores bióticos 22
2.3.6 Estrés abiótico 22
2.3.7 Estímulos ambientales..... 22
2.3.8 Fenotipos tóxicos..... 22
2.3.9 Metabolitos secundarios..... 22
IV. METODOLOGÍA 23
3.1 Tipo y nivel de investigación..... 23
3.1.1 Tipo de investigación 23
3.1.2 Nivel de investigación..... 23
3.2 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 23
3.2.1 Diseño completamente al azar 23
3.2.2 Detalle del diseño experimental para la aplicación radicular..... 23
3.2.3 Detalle de la unidad experimental para la aplicación foliar..... 24
3.2.4 Planteamiento de la hipótesis estadística..... 25
3.2.5 Prueba de normalidad Shapiro Wilk..... 25

3.2.6 Prueba de homogeneidad de varianzas-Prueba de Levene..... 25
3.2.7 Modelo estadístico del ANOVA..... 26
3.2.8 Prueba de comparación de medias-Prueba de Duncan..... 27
3.2.9 Materiales, equipos y reactivos..... 27
3.3 Métodos y técnicas para la ejecución de la investigación..... 29
3.3.1 Metodología para implementar el cultivo de la lechuga en sistema hidropónico..... 29
3.3.2 Metodología de cuantificación de la biomasa aérea..... 30
3.3.3 Extracción solido-liquido (ESL)..... 31
3.3.4 Metodología de contenido de polifenoles totales (CPT)..... 32
3.3.5 Metodología para la determinación de la capacidad antioxidante por DPPH.. 33
3.3.6 Determinación de la capacidad antioxidante por ORAC..... 34
3.3.7 Evaluación de residuos de Ciprofloxacino en tejido vegetal..... 35
3.4 Análisis de datos..... 39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 40
3.5 Reportes de Humedad Relativa y Temperatura..... 40
3.6 Peso de la biomasa aérea en la aplicación radicular..... 41
3.6.1 Formulación de la hipótesis..... 41
3.6.2 Estadístico de prueba..... 41
3.6.3 Contrastación..... 42
3.6.4 Interpretación..... 43
3.7 Peso de la biomasa aérea en la aplicación foliar..... 44
3.7.1 Formulación de la hipótesis..... 44
3.7.2 Estadístico de prueba..... 44
3.7.3 Contrastación..... 44
3.7.4 Interpretación..... 46
3.7.5 Discusión..... 46

3.8 Contenido de polifenoles totales en la aplicación radicular..... 47
3.8.1 Formulación de la hipótesis..... 47
3.8.2 Estadístico de prueba..... 48
3.8.3 Contrastación..... 48
3.8.4 Interpretación..... 49
3.9 Contenido de polifenoles totales en la aplicacion foliar..... 50
3.9.1 Formulación de la hipótesis..... 50
3.9.2 Estadístico de prueba..... 50
3.9.3 Contrastación..... 50
3.9.4 Interpretación..... 52
3.9.5 Discusión..... 52
3.10 Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación radicular..... 53
3.10.1 Formulación de la hipótesis..... 53
3.10.2 Estadístico de prueba..... 53
3.10.3 Contrastación..... 53
3.10.4 Interpretación..... 55
3.11 Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar..... 55
3.11.1 Formulación de la hipótesis..... 56
3.11.2 Estadístico de prueba..... 56
3.11.3 Contrastación..... 56
3.11.4 Interpretación..... 58
3.11.5 Discusión..... 58
3.12 Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación radicular..... 59
3.12.1 Formulación de la hipótesis..... 59
3.12.2 Estadístico de prueba..... 59
3.12.3 Contrastación..... 59
3.12.4 Interpretación..... 61

3.13 Capacidad antioxidante por método DPPH en la aplicación foliar 62
3.13.1 Formulación de la hipótesis 62
3.13.2 Estadístico de prueba 62
3.13.3 Contrastación 62
3.13.4 Interpretación 64
3.13.5 Discusión 64
3.14 Residuos de CIP en la aplicación radicular en tejido vegetal 65
3.14.1 Formulación de la hipótesis 65
3.14.2 Interpretación 66
3.15 Residuos de CIP en la aplicación foliar en tejido vegetal 66
3.15.1 Formulación de la hipótesis 67
3.15.2 Estadístico de prueba 67
3.15.3 Interpretación 68
3.15.4 Discusión 68
V. CONCLUSIONES 70
VI. RECOMENDACIONES 71
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
VIII. ANEXOS 85
Anexo 1. Panel fotográfico 85
Anexo 2. Curva estándar de Ácido Gálico 92
Anexo 3. Análisis estadístico de datos 93
3.1. Biomasa aérea 93
3.1.1. Resultados de las evaluaciones de Biomasa aérea de la aplicación radicular 93
3.1.2. Biomasa aérea de la planta en la aplicación radicular 93
3.1.3. Biomasa aérea de la planta en la aplicación foliar 94
3.2. Contenido de polifenoles totales 96

3.2.1. Contenido de polifenoles en la aplicación radicular 96
3.2.2. Contenido de polifenoles en la aplicación foliar..... 98
3.3. Capacidad antioxidante 99
3.3.1. Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación radicular 99
3.3.2. Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar 101
3.3.3. Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación radicular... 102
3.3.4. Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación foliar..... 104
3.4. Residuo de Ciprofloxacino en tejido vegetal 105
3.4.1. Residuos de CIP en tejido vegetal en la aplicación radicular 105
3.4.2. Residuos de CIP en tejido vegetal en la aplicación foliar 107
Anexo 4. Reporte de datos de Temperatura y Humedad Relativa 109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Clasificación taxonómica de la lechuga* 19
Tabla 2 *Composición química de la lechuga (en 100 g de parte comestible)* 20
Tabla 3 *Tabla de ANOVA para el DCA de la aplicación radicular* 26
Tabla 4 *Tabla de ANOVA para el DCA de la aplicación foliar* 26
Tabla 5 *Condiciones cromatográficas del LC-MS/MS* 37
Tabla 6 *Ecuación lineal de la curva de calibración* 38
Tabla 7 *Limite de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ) para el CIP* 38
Tabla 8 *Pruebas de precisión a partir de fortificados en concentración de (0.05 ug/mL)* 38
Tabla 9 *ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación radicular de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta* 42
Tabla 10 *Prueba de Duncan para la biomasa aérea en la aplicación radicular* 43
Tabla 11 *ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación foliar de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta* 44
Tabla 12 *Prueba de Duncan para la biomasa aérea en la aplicación foliar* 45
Tabla 13 *ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales de la planta* 48
Tabla 14 *Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales* 49

Tabla 15 *Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales*..... 50
Tabla 16 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 50
Tabla 17 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles*..... 51
Tabla 18 *Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por ORAC*..... 53
Tabla 19 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 54
Tabla 20 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por ORAC*..... 54
Tabla 21 *ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles totales*..... 56
Tabla 22 *Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales*..... 57
Tabla 23 *Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por DPPH*..... 59
Tabla 24 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 60
Tabla 25 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH*..... 60
Tabla 26 *Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por DPPH*..... 62
Tabla 27 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 63
Tabla 28 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH*..... 63
Tabla 29 *Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta*..... 65
Tabla 30 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal*..... 65
Tabla 31 *Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta*..... 67
Tabla 32 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal*..... 67
Tabla 33 *Puntos de la curva de estándar de Ácido Gálico*..... 92

Tabla 34 *Resultados obtenidos de la Biomasa aérea (Aplicación radicular)*..... 93
Tabla 35 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la biomasa aérea de la planta* 93
Tabla 36 *Prueba de homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea de la planta*... 94
Tabla 37 *ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta*..... 94
Tabla 38 *Prueba de Duncan para la biomasa aérea de la planta* 94
Tabla 39 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la biomasa aérea de la planta* 95
Tabla 40 *Prueba de homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea de la planta*... 95
Tabla 41 *ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta*..... 95
Tabla 42 *Prueba de Duncan para la biomasa aérea de la planta* 96
Tabla 43 *Resultados obtenidos de contenido de polifenoles en la aplicación radicular* . 96
Tabla 44 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para el contenido de polifenoles totales de la planta*..... 97
Tabla 45 *Prueba de homogeneidad de varianzas para el contenido de polifenoles totales de la planta*..... 97
Tabla 46 *ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales de la planta* 97
Tabla 47 *Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales de la planta*..... 97
Tabla 48 *Resultados obtenidos del contenido de polifenoles en la aplicación foliar*..... 98
Tabla 49 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para el contenido de polifenoles totales* 98
Tabla 50 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 98
Tabla 51 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles*..... 99
Tabla 52 *Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante ORAC (radicular)* 99
Tabla 53 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método ORAC* 100
Tabla 54 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados*..... 100
Tabla 55 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por ORAC* 100
Tabla 56 *Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante ORAC (foliar)*..... 101

Tabla 57 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante por método ORAC* 101
Tabla 58 *Prueba de homogeneidad de varianzas para la capacidad antioxidante ORAC* 101
Tabla 59 *ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino la capacidad antioxidante de la planta* 102
Tabla 60 *Prueba de Duncan para la capacidad antioxidante de la planta* 102
Tabla 61 *Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante DPPH (radicular)* 102
Tabla 62 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método DPPH* 103
Tabla 63 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados* 103
Tabla 64 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH* 104
Tabla 65 *Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante DPPH (foliar)* 104
Tabla 66 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método DPPH* 105
Tabla 67 *Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados* 105
Tabla 68 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH* 105
Tabla 69 *Resultados obtenidos del residuo de CIP (radicular)* 105
Tabla 70 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para los residuos de Ciprofloxacino en la planta* 106
Tabla 71 *Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta* 106
Tabla 72 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal* 107
Tabla 73 *Resultados obtenidos de residuo de CIP (foliar)* 107
Tabla 74 *Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para los residuos de Ciprofloxacino en la planta* 108
Tabla 75 *Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta* 108
Tabla 76 *Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal* 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Estructura química del Ciprofloxacino*..... 12
Figura 2 *Adsorción y translocación de fármacos en plantas cultivadas en suelos y en sistemas hidropónicos*..... 12
Figura 3 Etapas en la biotransformación de xenobióticos en el organismo humano..... 14
Figura 4 *Representación esquemática del efecto de diversos antibióticos sobre las bacterias intestinales humanas.* 15
Figura 5 *Los impactos negativos en la salud del huésped debido al uso excesivo y mal uso de antibióticos*..... 16
Figura 6 *Flujo de ARG desde las aguas residuales hospitalarias al entorno acuático*... 17
Figura 7 Desarrollo de resistencia a los antibióticos y riesgos para la salud humana..... 18
Figura 8 *Señalización de las especies reactivas de oxígeno (ROS)*..... 19
Figura 9 *Diseño Completamente al Azar para la aplicación radicular*..... 24
Figura 10 Diseño Completamente al Azar para la aplicación foliar..... 24
Figura 11 *Procedimiento para la medición de la biomasa aérea fresca*..... 31
Figura 12 *Proceso convencional de extracción de polifenoles*..... 32
Figura 13 *Cuantificación de polifenoles totales equivalentes de ácido gálico*..... 33
Figura 14 *Análisis de capacidad antioxidante por el método 2;2-Difenil-1-Picrilhidrazilo* 34
Figura 15 *Protocolo de Capacidad de Absorción de Radicales de Oxigeno (ORAC)* 35
Figura 16 *Análisis de residuo de CIP en tejido vegetal en LC-MS Agilent 6475*..... 36
Figura 17 *Reporte de temperaturas máximas y mínimas del 2024* 40
Figura 18 *Reporte de valores de Humedad Relativa del 2024* 40
Figura 19 *Gráfico de la biomasa aérea de la planta en la aplicación radicular*..... 42
Figura 20 *Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación radicular de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta* 43
Figura 21 *Gráfico de la biomasa aérea de la planta en la aplicación foliar*..... 45
Figura 22 *Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación foliar de CIP sobre la biomasa aérea de la planta* 45
Figura 23 *Gráfico del contenido de polifenoles en la planta*..... 48
Figura 24 *Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles de la planta* 49
Figura 25 *Gráfico del contenido de polifenoles de la planta*..... 51

Figura 26 *Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles en la planta por el método ORAC* 55
Figura 27 *Gráfico de la capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar* 57
Figura 28 *Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles de la planta* 57
Figura 29 *Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles por DPPH* 61
Figura 30 *Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles por DPPH* 63
Figura 31 *Gráfico de residuo de CIP en tejido vegetal en la aplicación radicular* 66
Figura 32 *Residuo de CIP en tejido vegetal en la aplicación foliar* 68
Figura 33 *Preparación de la Solución Nutritiva* 85
Figura 34 *Trasplante de plántulas de lechuga* 85
Figura 35 *Acondicionamiento de las plántulas de lechuga en las canastillas con mezcla de turba y perlita* 86
Figura 36 *Colocación de canastillas en el sistema hidropónico (previamente acondicionado con solución nutritiva)* 86
Figura 37 *Proceso de crecimiento de la planta a los 12 días* 87
Figura 38 *Proceso de crecimiento de la planta a los 18 días* 87
Figura 39 *Proceso de crecimiento y madurez final a los 35 días (cosecha)* 88
Figura 40 *Selección de muestras por cada tratamiento* 88
Figura 41 *Medición de parámetros de la planta* 89
Figura 42 *Pruebas de precisión a través de fortificaciones en matriz vegetal* 89
Figura 43 *Proceso de extracción de muestras para análisis de compuestos fenólicos* ... 90
Figura 44 *Proceso de centrifugado de muestras* 90
Figura 45 *Preparación y extracción de muestras para el análisis en el LC-MS/MS* 91
Figura 46 *Proceso de análisis de residuo de CIP en tejido vegetal* 91
Figura 47 *Curva estándar de Ácido Gálico* 92

INTRODUCCIÓN

La presencia de antibióticos en ambientes agrícolas se ha convertido en una preocupación creciente a nivel global, debido al uso intensivo de estos compuestos en la medicina humana, la ganadería y especialmente en la industria farmacéutica, que genera efluentes con altas concentraciones de residuos farmacéuticos. Diversos estudios han reportado que los antibióticos pueden llegar a los suelos agrícolas y cultivos a través del riego con aguas residuales tratadas (TWW), lodos de depuradora y descargas industriales, lo que plantea riesgos ambientales y sanitarios (Wilkinson et al., 2022; Kopáček et al., 2021). El Ciprofloxacino, un principio activo con acción amplia, integrado en la clase de las fluoroquinolonas, ha sido detectado de forma recurrente en aguas residuales y cuerpos de agua superficial en todo el mundo, incluyendo zonas agrícolas irrigadas con estas fuentes (Kayode-Afolayan et al., 2022).

El uso de aguas contaminadas con antibióticos en la agricultura representa una vía de entrada directa de estos contaminantes emergentes al ecosistema edáfico y a los cultivos. Se ha demostrado que algunos antibióticos son absorbidos por las raíces de las plantas y posteriormente translocados hacia los tejidos aéreos, acumulándose en hojas, tallos e incluso frutos comestibles (Savchenko & Tikhonov, 2021). La exposición a estas sustancias puede inducir respuestas fisiológicas y bioquímicas en las plantas, tales como la alteración del crecimiento, la reducción de la fotosíntesis, la generación excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) y el desequilibrio del metabolismo secundario (Gomes et al., 2020; Sharifmand et al., 2024). Algunos estudios han reportado que estas alteraciones afectan tanto la cantidad producida como su aporte nutricional, con implicancias para la seguridad alimentaria (Khan & Barros, 2023).

En este contexto, el presente estudio evaluó el efecto del Ciprofloxacino aplicado foliar y radicularmente sobre el cultivo de lechuga *(Lactuca sativa)* en un sistema hidropónico. Para ello, se utilizaron cuatro concentraciones de CIP (0, 1, 5 y 10 µg/L) para la aplicación radicular y (0, 5 y 10 µg/L) para la aplicación foliar con el objetivo de analizar su impacto sobre variables agronómicas y bioquímicas clave: biomasa aérea fresca, contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y acumulación de residuos de CIP en tejido vegetal. Esta investigación busca aportar evidencia sobre los posibles efectos bioestimulantes o tóxicos del Ciprofloxacino en cultivos de hoja verde, en un contexto de creciente preocupación por los contaminantes emergentes en la agricultura y su impacto en la salud humana y ambiental.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema

La presencia de residuos de antibióticos en vegetales constituye una problemática ambiental y sanitaria de creciente preocupación. Su origen se relaciona con el uso extensivo de antibióticos en humanos y animales, los cuales no se metabolizan por completo, generando que entre un 30% y 90% sean excretados en forma activa (Russell & Yost, 2021). En este contexto, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) actúan como reservorios importantes de estos compuestos (Oharisi et al., 2023), aunque los procesos convencionales aplicados no logran eliminarlos eficazmente, lo que permite su persistencia y liberación al ambiente (Zieliński et al., 2021). Por otro lado, la otra vía de ingreso de antibióticos a los sistemas agrícolas proviene del uso de fertilizantes orgánicos elaborados con estiércol y orina animal, que contienen restos de fármacos empleados en la producción pecuaria (Lakew et al., 2023). Lehmann & Bloem (2021) señalan que el estiércol avícola aplicado al suelo puede liberar residuos de antibióticos, los cuales son absorbidos por las raíces y acumulados en los tejidos vegetales. De manera similar, los lodos de depuradora utilizados en plantas de biogás para la producción de energía representan una fuente adicional de contaminación (Lehmann & Bloem, 2021). Asimismo, Nieto-Juárez et al. (2021) reportaron concentraciones relevantes de sulfametoxazol, trimetoprima, azitromicina, claritromicina y Ciprofloxacino en aguas superficiales, confirmando la exposición ambiental.

La reutilización de aguas residuales tratadas (TWW) en la agricultura surge como una alternativa frente a la escasez hídrica; no obstante, también representa una de las principales vías de ingreso de antibióticos en los sistemas agrícolas. Los procesos convencionales de tratamiento no eliminan por completo estos compuestos, lo que permite que permanezcan en el efluente final (Kovalakova et al., 2020;Rai et al., 2021). Al aplicarse al suelo mediante riego, los antibióticos presentes en la fracción soluble del agua son absorbidos principalmente por las raíces a través de difusión pasiva o, en algunos casos, por transporte activo al imitar metabolitos naturales (O'Connor et al., 2021). Posteriormente, se movilizan por el xilema hacia las partes aéreas del vegetal, acumulándose en hojas, tallos, granos y frutos (C. Yan et al., 2013). Esta dinámica explica la elevada concentración de antibióticos en hortalizas de hoja verde respecto a otros cultivos, lo que implica un riesgo directo para la salud humana al incorporarse en la cadena alimentaria (Sleight et al., 2023). Además, factores edáficos como textura, pH y materia orgánica, junto con la eficiencia del tratamiento, modulan la absorción y acumulación de

estos contaminantes (Z. Liu et al., 2023). En este contexto, el riego agrícola con TWW constituye un vector crítico de exposición, consolidando a la raíz como la principal vía de entrada y al sistema vascular como el medio de distribución interna de antibióticos en los cultivos.

Las plantas presentan un potencial diferenciado de bioacumulación de antibióticos, concentrando mayores cantidades de estos compuestos en sus raíces, lo que las convierte en el principal reservorio inicial (Geng et al., 2022). No obstante, la movilidad de ciertos antibióticos favorece su persistencia en el suelo y su incorporación a distintos órganos vegetales; en particular, las sulfonamidas muestran alta translocación y distribución hacia las hojas (P. Wang et al., 2022). Una vez internalizados, estos compuestos interfieren en procesos fisiológicos esenciales, provocando alteraciones en la fotosíntesis y modificando la morfología de raíces, tallos y hojas (Luan et al., 2021). Tales perturbaciones generan un estado de estrés abiótico que se traduce en la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales comprometen el crecimiento y reducen el rendimiento de los cultivos (Stiller et al., 2021; Gomes et al., 2020). Frente a este escenario, las plantas activan respuestas defensivas basadas en la síntesis de metabolitos secundarios, principalmente polifenoles, que actúan como potentes antioxidantes capaces de neutralizar los ROS y mitigar el daño oxidativo en células y tejidos (Korkina et al., 2008; Kubalt, 2016). Estos compuestos no solo cumplen un rol protector frente al estrés oxidativo, sino que también contribuyen a la resistencia contra la herbivoría de insectos (Kubalt, 2016).

Se ha documentado la presencia de antibióticos en vegetales, con efectos que van desde la acumulación en tejidos hasta alteraciones fisiológicas. Sin embargo, existe una notoria carencia de estudios sobre el fenómeno de hormesis inducida por antibióticos en sistemas hidropónicos, particularmente en lo referido a la síntesis de compuestos fenólicos y a la capacidad antioxidante de los cultivo (Korkina et al., 2008). La mayoría de investigaciones disponibles se han enfocado en cuantificar residuos y evaluar riesgos toxicológicos o bacterianos, sin profundizar en las posibles respuestas adaptativas funcionales de las plantas (Du et al., 2023). Liu et al. (2013), quien en *Phragmites australis* observó un efecto hormético al exponer la planta a concentraciones bajas de antibióticos (<1 µg/L), lo que estimuló la actividad de enzimas antioxidantes, mientras que niveles elevados resultaron tóxicos para su metabolismo. De forma similar, Ramos et al. (2023) reportaron en quinua que 10 µg/L de Ciprofloxacino redujo el crecimiento en 16 %, mientras que 100 µg/L promovió una mayor biosíntesis de polifenoles y capacidad antioxidante, sugiriendo un efecto hormético. Este vacío de conocimiento resalta el aporte

novedoso de la presente tesis, que evalúa no sólo la presencia de residuos de Ciprofloxacino en lechuga hidropónica, sino también su capacidad para inducir mejoras en biomasa, polifenoles y actividad antioxidante mediante aplicaciones radiculares y foliares.

Aunque la investigación se desarrolla en un sistema hidropónico, este no está exento de riesgos frente a contaminantes emergentes como antibióticos. La hidroponía, al prescindir del suelo, ofrece un medio homogéneo que facilita la absorción y translocación de estos compuestos, lo que puede aumentar la vulnerabilidad del cultivo al generar una mayor biodisponibilidad y efecto directo sobre las plantas (Herklotz et al., 2010). Además, estudios recientes han documentado la presencia de bacterias resistentes a antibióticos y genes de resistencia en lechugas hidropónicas comercializadas, lo que evidencia que este sistema también puede convertirse en una vía de exposición humana (Lam et al., 2020). Se eligió la lechuga *(Lactuca sativa)* como especie de estudio debido a su ciclo corto, su consumo fresco y su alta demanda local; estas características la hacen particularmente sensible a la bioacumulación de contaminantes y pertinente para evaluar riesgos sanitarios inmediatos.

1.1.1 Interrogante general

¿La aplicación de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga *(Lactuca sativa)* hidropónica, incrementará la biomasa aérea, la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles, y residuos de Ciprofloxacino?

1.1.2 Interrogantes específicas

¿El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementará su biomasa aérea?

¿La aplicación de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementará la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles producidos en este cultivo?

¿El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementará la presencia de residuos de Ciprofloxacino en sus tejidos?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar si la aplicación de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga *(Lactuca sativa)* hidropónica, incrementa la biomasa aérea, la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles, y la presencia residuos de Ciprofloxacino en sus tejidos.

1.2.2 Objetivos específicos

Analizar si el uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa su biomasa aérea.

Estimar si la aplicación de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles producidos en este cultivo.

Determinar si el uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa la presencia de residuos de Ciprofloxacino en sus tejidos.

1.3 Justificación

El proyecto se justifica en la necesidad de generar conocimientos que contribuyan al desarrollo sostenible de la agricultura. El fenómeno de la hormesis, entendido como una respuesta adaptativa de las plantas a dosis bajas de agentes estresantes, abre la posibilidad de estimular la biomasa y la acumulación de compuestos fenólicos sin provocar los daños fisiológicos asociados a concentraciones elevadas de contaminantes.

Este enfoque resulta relevante en sistemas hidropónicos, donde la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de insumos químicos son pilares fundamentales de la sostenibilidad. Evaluar la respuesta de la lechuga frente a bajas dosis de Ciprofloxacino permitirá identificar si es posible aprovechar mecanismos fisiológicos naturales para mejorar la productividad y calidad nutricional del cultivo, al tiempo que se minimiza la exposición a residuos de antibióticos. De esta forma, la investigación aporta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los vinculados a la producción y consumo responsables (ODS 12) y a la seguridad alimentaria sostenible (ODS 2).

1.4 Importancia

El proyecto "Evaluación del incremento de polifenoles, capacidad antioxidante, biomasa aérea y residuo de antibiótico por medio de la hormesis con Ciprofloxacino en lechuga *(Lactuca sativa)* hidropónica" es importante porque la hormesis es un fenómeno biológico, una respuesta de defensa de la planta ante la exposición a una dosis de agente estresante. En este caso, el agente estresante es el Ciprofloxacino, un fármaco antimicrobiano empleado para tratar infecciones. Los resultados del proyecto podrán tener implicaciones importantes para la producción de lechuga. Además, los resultados del proyecto podrán ayudar a reducir el contacto de los consumidores con restos de

Ciprofloxacino en la lechuga. A continuación, se presentan algunos enfoques específicos sobre la importancia del proyecto:

Enfoque ambiental

La investigación propuesta aborda la necesidad crítica de una agricultura sostenible en el contexto de la producción de lechuga en sistemas hidropónicos. La aplicación de hormesis con Ciprofloxacino tiene el potencial de optimizar el rendimiento de la lechuga sin comprometer la salud ambiental. Al comprender cómo esta técnica puede influir en la biomasa aérea y los polifenoles, podemos desarrollar estrategias más eficientes y ecoamigables para la producción de alimentos, racionalizando el empleo de agua y reduciendo los residuos derivados de técnicas agrícolas convencionales.

Enfoque económico

Desde una perspectiva económica, la mejora en la biomasa aérea y la concentración de polifenoles en lechuga puede traducirse directamente en beneficios para los agricultores y la industria alimentaria en general. Un aumento en la producción sin comprometer la calidad nutricional puede conducir a mayores rendimientos y rentabilidad. Además, la optimización de las técnicas hidropónicas mediante la hormesis con Ciprofloxacino podría resultar en ahorros significativos de recursos, como agua y fertilizantes, contribuyendo a la sostenibilidad económica a largo plazo.

Enfoque sociocultural

En el contexto sociocultural actual, la capacidad antioxidante de los polifenoles cobra relevancia debido al aumento del interés por los beneficios para la salud vinculados al consumo de alimentos con alto contenido de antioxidantes. La mejora de esos componentes en lechuga puede hallar vías favorables para la prevención de enfermedades crónicas, lo que supondría un auge del bienestar y la salud para todos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga *(Lactuca sativa)* hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa sustancialmente la biomasa aérea, la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles y la presencia de residuos de Ciprofloxacino en sus tejidos.

1.5.2 Hipótesis específicas

El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa significativamente su biomasa aérea.

La aplicación de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa considerablemente la concentración y la capacidad antioxidante de polifenoles producidos en este cultivo.

El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliar y radicularmente, incrementa notablemente la presencia de residuos de Ciprofloxacino en sus tejidos.

1.6 Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Variable independiente	Concentración de Ciprofloxacino	Ciprofloxacino administrado (0, 1, 5 y 10 µg/L)	µg/L
Variables dependientes	Cuantificación de Polifenoles totales	Concentración de polifenoles totales	mg EAG/gramo de solido seco
	Determinación de Capacidad antioxidante por DPPH	Capacidad antioxidante	(µmol TE/gbs) (mg/mL)
	Análisis de Biomasa aérea	Biomasa aérea	mg
	Evaluación Residuo de CIP en tejido	Concentración de CIP en tejido	µg/g
Variables Intervinientes	Humedad Relativa	Porcentaje de humedad en el área de cultivo	%
	Temperatura	Temperatura promedio del ambiente en el área de cultivo	°C

1.6.1 Variable independiente

- Concentración de Ciprofloxacino en la aplicación radicular (0, 1, 5 y 10 µg/L).

- Concentración de Ciprofloxacino en la aplicación foliar (0; 5; 10 µg/L).

Diversas investigaciones han evidenciado que el uso de antibióticos en concentraciones elevadas genera efectos adversos en las plantas. Por ejemplo, Eggen et al. (2011) reportaron que la exposición de zanahoria, trigo y nabo a metformina, Ciprofloxacino y narasina en concentraciones de 6–10 mg/kg de suelo seco ocasionó una reducción significativa en el crecimiento vegetal, demostrando el impacto negativo de dosis altas sobre parámetros productivos. De forma similar, Lung et al. (2025) observó que la aplicación de Ciprofloxacino en concentraciones de 5–20 mg/kg provocó incrementos en los niveles de polifenoles, pero al mismo tiempo reducciones drásticas en la fisiología de las plantas, con una disminución de hasta 70 % en los pigmentos fotosintéticos y del 83,8 % en la capacidad antioxidante respecto a plantas control. Estos hallazgos sugieren que, aunque las altas concentraciones pueden inducir respuestas metabólicas defensivas, los daños colaterales superan los beneficios. En este contexto, la presente investigación decidió emplear concentraciones bajas de Ciprofloxacino, con el propósito de explorar la posible existencia de un efecto hormético. Este fenómeno, descrito por Ramos et al. (2023), se caracteriza por una respuesta beneficiosa de las plantas a bajas dosis de un compuesto estresor, que puede traducirse en mejoras en la biomasa y el contenido de compuestos fenólicos, sin generar alteraciones fisiológicas negativas. De esta manera, el uso de concentraciones bajas no solo permite evaluar el potencial estimulante del Ciprofloxacino en parámetros bioquímicos y de crecimiento, sino también establecer un rango de exposición seguro y relevante para condiciones ambientales reales.

1.6.2 Variables dependientes

- Polifenoles totales
- Capacidad antioxidante
- Biomasa aérea fresca
- Residuo de Ciprofloxacino en tejido vegetal

1.6.3 Variables intervinientes

- Humedad
- Temperatura

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

En una investigación de Mukhtar et al. (2020) se evaluó la fitotoxicidad de diferentes antibióticos en el arroz (*Oryza sativa L.*) y el papel de enmiendas orgánicas en la mitigación del estrés. Se probaron Ciprofloxacino, Levofloxacina, Ofloxacina, Amoxicilina y Ampicilina en combinación con cáscara de arroz, estiércol de granja y cama de aves como enmiendas. Los resultados mostraron que la germinación, la longitud de raíz y brote, la biomasa y el índice de vigor se vieron afectados negativamente por la presencia de antibióticos. Sin embargo, la aplicación de enmiendas orgánicas alivió significativamente la fitotoxicidad y la genotoxicidad, destacando la cáscara de arroz y la cama de aves en los efectos positivos observados.

En un estudio de Gomes et al. (2020) investigaron los efectos del riego de maíz con agua contaminada con Ciprofloxacino (0; 0.2; 0.8; 1.4 y 2.0 μgl^{-1}) y/o glifosato (0; 5; 25 y 50 mgl^{-1}) en macetas. El crecimiento de las plantas se vio inhibido por concentraciones de glifosato ≥25 mg L^{-1}, tanto en presencia como en ausencia de Ciprofloxacino. Los resultados revelan que las concentraciones de Ciprofloxacino ≥0.8 μgl^{-1} y glifosato afectaron la fotosíntesis, la anatomía de las hojas y las propiedades del tallo, reduciendo el rendimiento del grano.

Yang et al., (2023) evaluaron el impacto de dos tipos de lombrices de tierra, *Metaphire guillelmi* y *Eisenia foetida*, en la acumulación y transferencia de Clortetraciclina (CTC) y genes de resistencia a antibióticos (ARG) en un sistema que involucra suelo y cultivo de lechuga a través de experimentos en macetas. La aplicación de lombrices de tierra aceleró la eliminación de CTC del suelo y de las raíces y hojas de la lechuga, y el contenido de CTC se redujo entre un 11.7 y un 22.8 %, un 15.7 y un 36.1 % y un 8.93 y 19.6 % respectivamente.

Por otro lado, Kulik et al., (2023), investigaron la toxicidad de tres antibióticos (Amoxicilina, Trimetoprima y Ciprofloxacino) en comunidades bacterianas del suelo en suelos agrícolas con diferentes características. Se utilizaron dos métodos, la incorporación de leucina y los fosfolípidos de ácidos grasos, para evaluar este efecto. Los resultados señalan que la Amoxicilina fue el antibiótico más perjudicial, mientras que el Ciprofloxacino no mostró efectos tóxicos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional, Ramos et al. (2023) desarrollaron un estudio orientado a comprender el efecto del Ciprofloxacino (CIP) aplicado mediante riego en la quinua variedad Pasankalla, con énfasis en sus características morfológicas y el contenido de polifenoles. Para ello, las plantas fueron expuestas a tres concentraciones de CIP (1, 10 y 100 µg/L), administradas dos veces por semana, y se evaluaron órganos como raíces, hojas, panículas y granos en términos de crecimiento y propiedades antioxidantes. Los resultados evidenciaron que la biomasa y la longitud radicular no presentaron variaciones significativas durante la madurez fisiológica. No obstante, el crecimiento de las plantas se redujo en un 16 % bajo la concentración intermedia de 10 µg/L, lo cual sugiere un efecto inhibitorio puntual. En contraste, la dosis más elevada (100 µg/L) estimuló la biosíntesis de polifenoles y aumentó la capacidad antioxidante en 52 % y 59 %, respectivamente, respecto al control. Además, se detectó un incremento relevante en compuestos fenólicos específicos, como el ácido vainílico y las procianidinas A2 y B2. Estos hallazgos indican que, bajo condiciones controladas, el CIP podría inducir una mayor actividad enzimática asociada a la producción de polifenoles, favoreciendo la defensa antioxidante sin afectar de manera crítica el rendimiento global del cultivo.

En un estudio de Nieto-Juárez et al. (2021) llevaron a cabo un estudio en Perú con el objetivo de evaluar la eliminación de productos farmacéuticos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) y su impacto en cuerpos receptores. Se analizaron muestras de las PTAR ubicadas en Lima, Cusco, Puno y Juliaca, además de aguas superficiales en la confluencia de los ríos Torococha y Coata (Juliaca). Los resultados revelaron que entre el 60 % y 75 % de los compuestos farmacéuticos investigados fueron detectados tanto en aguas superficiales como en aguas tratadas de las PTAR. Llama la atención que aproximadamente la mitad de los compuestos presentaron concentraciones similares o incluso superiores en las aguas tratadas respecto a las aguas afluentes, lo que evidencia la limitada eficiencia de los sistemas convencionales de tratamiento. Asimismo, se identificó que tres antibióticos representaban un alto riesgo ambiental ($RQ \geq 1$) para los ecosistemas acuáticos. En el río, todos los antibióticos analizados —con excepción de la norfloxacina—, junto con analgésicos y antiinflamatorios como acetaminofén y diclofenaco, también mostraron riesgo elevado. Este trabajo, pionero en el país, demostró que las PTAR de ciudades clave del Perú no logran remover adecuadamente los productos farmacéuticos, generando riesgos ambientales significativos en aguas receptoras.

2.2 Bases teóricas

Los antibióticos son considerados contaminantes emergentes debido a su presencia creciente en diversos compartimentos ambientales y a la dificultad de ser eliminados mediante procesos convencionales de tratamiento (Zieliński et al., 2021). Estos compuestos, ampliamente utilizados en la medicina humana y veterinaria, no son metabolizados por completo en los organismos, lo que ocasiona que entre el 30 % y 90 % de la dosis administrada sea excretada en forma activa (Oharisi et al., 2023).

El destino de estos residuos en el ambiente está vinculado principalmente a dos rutas: las aguas residuales y los fertilizantes orgánicos de origen pecuario. En las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), los antibióticos tienden a acumularse debido a la limitada eficacia de los sistemas convencionales, siendo descargados finalmente en ríos, lagos o suelos agrícolas (Sahu et al., 2022). De manera complementaria, el uso de estiércol, purines y lodos de depuradora como enmiendas agrícolas constituye otra fuente de incorporación de antibióticos al ambiente, ya que estos residuos mantienen concentraciones detectables de compuestos farmacéuticos (Lakew et al., 2023).

Una vez presentes en el suelo o en el agua de riego, los antibióticos pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y translocados hacia sus tejidos, lo que genera riesgos de bioacumulación y exposición indirecta para los consumidores (Nieto-Juárez et al., 2021). Esta situación no solo compromete la seguridad alimentaria, sino que además plantea desafíos para la sostenibilidad agrícola y la protección de la salud pública.

2.2.1 Antibiótico y Ciprofloxacino

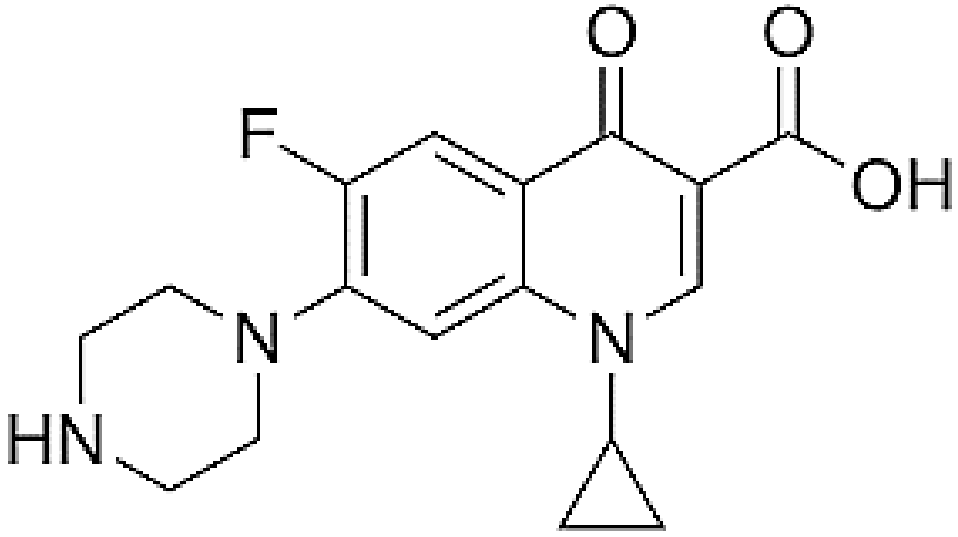
El término "antibiótico" no solo se refiere a compuestos de origen biológico como la penicilina o la estreptomicina, sino que también incluye sustancias semisintéticas y sintéticas producidas en laboratorio. En función de su mecanismo de acción, los antibióticos pueden clasificarse como bacteriostáticos, cuando inhiben el crecimiento y la reproducción bacteriana sin destruir las células, o como bactericidas, cuando provocan la muerte de las bacterias mediante procesos como la lisis celular. Estos compuestos se agrupan en diversas clases según su estructura química y modo de acción, tales como: aminoglucósidos, betalactámicos, anfenicoles, glucopéptidos, lincosamidas, nitroimidazoles, oxazolidinonas, quinolonas, rifamicinas, sulfonamidas, tetraciclinas, macrólidos, entre otros (Patel et al., 2023).

El Ciprofloxacino es un antibiótico sintético de segunda generación clasificado dentro de las fluoroquinolonas. Su estructura química es 1-ciclopropil-6-fluoro-4-oxo-7-(piperazin-1-il)-quinolina-3-ácido carboxílico, con fórmula

molecular $C_{17}H_{18}FN_3O_3$ y un peso molecular de 331,34 g/mol (Shariati et al., 2022). Actúa inhibiendo de forma específica dos enzimas bacterianas esenciales para la replicación del ADN: la girasia (topoisomerasa II) y la topoisomerasa IV, lo que impide el desenrollamiento del ADN y conduce a la muerte bacteriana (G. F. Zhang et al., 2018). El Ciprofloxacino posee un amplio rango de actividad, mostrando gran efectividad frente a bacterias gramnegativas, entre ellas *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* y también activo frente a diversas bacterias grampositivas (S. Wang et al., 2012). La primera patente fue presentada por Bayer a comienzos de los años ochenta, introduciéndose clínicamente en 1987, y desde entonces ha sido utilizado ampliamente en medicina humana y veterinaria (Anzola Pachón, 2013).

Figura 1

Estructura química del Ciprofloxacino



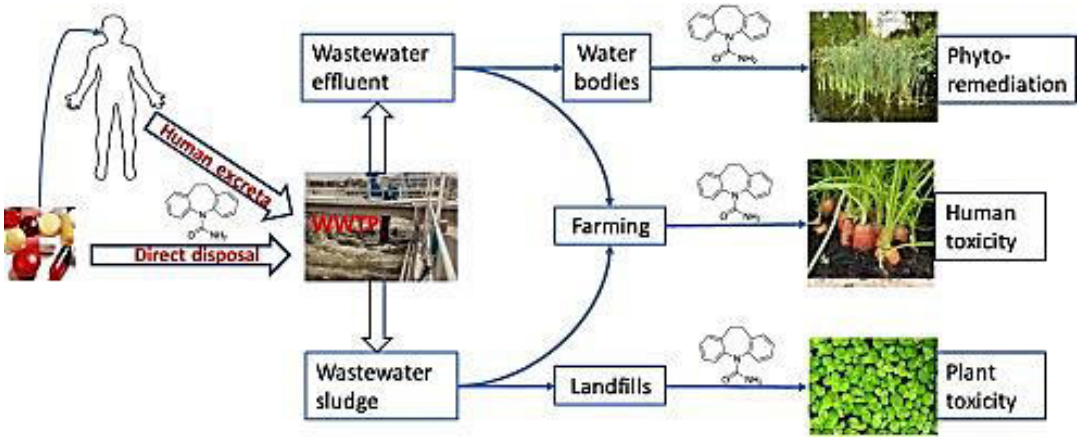
Nota. Adaptado de: (Barry et al., 1984)

2.2.2 Absorción de fármacos en plantas hidropónicas

Madikizela et al. (2018) revisaron múltiples estudios sobre la absorción y translocación de fármacos, incluidos antibióticos, en plantas cultivadas tanto en suelos como en sistemas hidropónicos. Concluyeron que las plantas pueden absorber estas sustancias desde el agua o soluciones nutritivas, translocándolas a diferentes tejidos vegetales.

Figura 2

Adsorción y translocación de fármacos en plantas cultivadas en suelos y en sistemas hidropónicos



Nota. Adaptado de: Madikizela et al. (2018)

2.2.3 Resistencia bacteriana en lechugas hidropónicas

Los sistemas hidropónicos son cada vez más utilizados en la agricultura urbana por su eficiencia y la percepción de ofrecer productos libres de contaminación microbiológica. No obstante, Lam et al. (2020) demostraron la presencia de bacterias resistentes a antibióticos en lechugas hidropónicas comercializadas, comparándolas con lechugas convencionales y orgánicas. Se detectaron bacterias resistentes a tetraciclina y sulfadiazina, además de genes asociados a resistencia (tetB, tetX, sul1, sul2 e int1). Aunque la lechuga hidropónica mostró menores niveles de bacterias resistentes y concentraciones inhibitorias mínimas que la orgánica, los genes de resistencia estuvieron presentes en los tres sistemas productivos. Este hallazgo evidencia que la hidroponía disminuye, pero no elimina completamente, el riesgo de diseminación de genes resistentes en hortalizas.

2.2.4 Mejoras con bioinsumos en hidroponía

Vogelmann et al. (2025) evaluaron la producción de lechuga orgánica (*Lactuca sativa* L., cv. Simpson) en un sistema hidropónico sostenible a pequeña escala, diseñado con materiales reciclados y enriquecido con un bioproducto líquido. El experimento se desarrolló en São Lourenço do Sul/RS durante los meses de octubre a noviembre, trasplantándose plántulas de 15 días a contenedores de 2 L con soluciones nutritivas suplementadas con distintas concentraciones del bioinsumo. Los resultados mostraron que la adición del bioproducto mejoró el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes y la calidad de las plantas en comparación con los tratamientos sin suplementación. Este estudio evidencia que el uso de bioinsumos en hidroponía no solo incrementa la productividad, sino que también contribuye a la sostenibilidad del sistema, al promover alternativas más eficientes y respetuosas con el ambiente.

2.2.5 Estadísticas clave sobre el cultivo de Lechuga

A nivel mundial, la lechuga y la achicoria alcanzaron una producción de cerca de 28 millones de toneladas en 2023, siendo China responsable del 53 % del total. Aunque el rendimiento promedio en campo ronda los 1,88 kg/m², los sistemas de cultivo controlado, como invernaderos o agricultura vertical (CEA), ofrecen rendimientos superiores de hasta 3,68 kg/m², alcanzando 6,88 kg/m² en sistemas verticales intensivos (Gargaro et al., 2023). En el contexto regional, Estados Unidos produce más de 3,3 millones de toneladas anuales, especialmente en California y Arizona (Buenrostro-Curiel et al., 2025); mientras que México logró 539 000 toneladas en 2020 (crecimiento del 4,5 %), y España alcanzó 745 698 toneladas exportadas en 2024, consolidándose como líder en la UE.

2.2.6 Metabolismo de antibióticos en el organismo humano

Los antibióticos y otros productos farmacéuticos son considerados xenobióticos, ya que no son producidos naturalmente por el organismo humano. Estos compuestos, en su mayoría de naturaleza lipofílica, tienden a acumularse en compartimentos grasos del cuerpo, lo que dificulta su eliminación. Para facilitar su excreción, el organismo recurre a un proceso denominado biotransformación, llevado a cabo principalmente en el hígado. Este mecanismo involucra diversas reacciones enzimáticas (fase I y fase II) que alteran la conformación química de los xenobióticos, aumentando su solubilidad en agua y permitiendo su expulsión por vía urinaria o biliar.

Figura 3

Etapas en la biotransformación de xenobióticos en el organismo humano

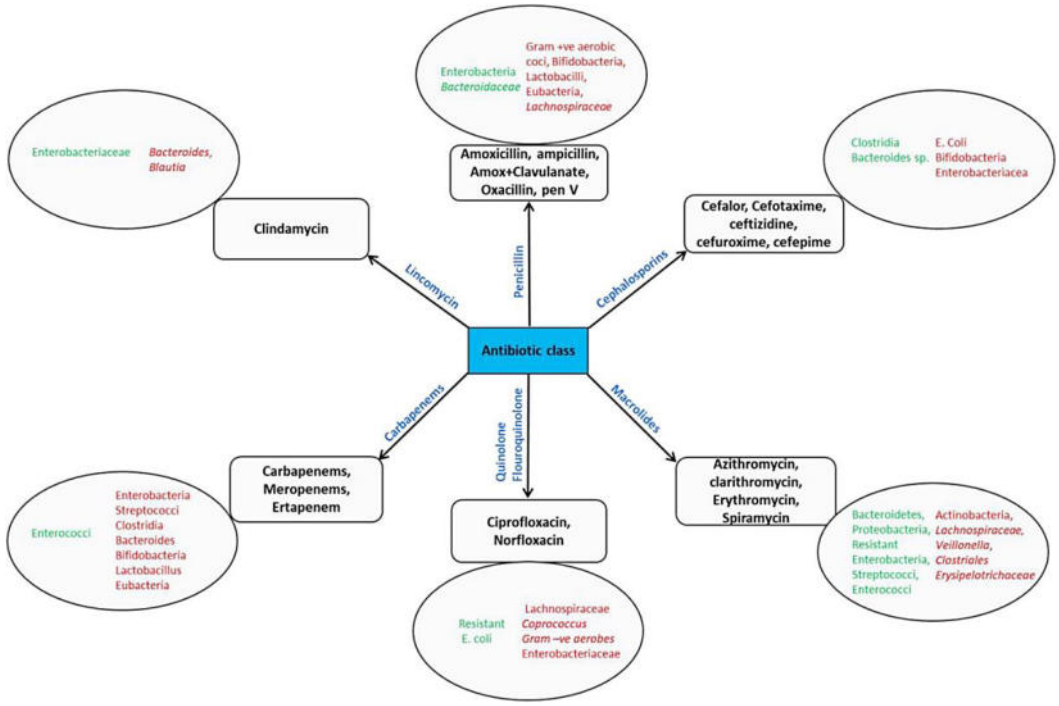


Nota. Adaptado de: (Castell, 2018)

Además, se ha evidenciado que la flora intestinal desarrolla una labor crucial en la modulación del metabolismo y en la salud general del huésped. Sin embargo, el uso de antibióticos puede alterar significativamente este microbiota, reduciendo su diversidad, afectando su funcionalidad, y favoreciendo la selección de cepas resistentes, como *Clostridioides difficile*. Estos cambios pueden incrementar la vulnerabilidad del organismo a futuras infecciones. La creciente resistencia a los antibióticos constituye una crisis sanitaria global, lo que ha motivado investigaciones centradas en sus efectos sobre el microbiota intestinal y la salud del huésped, así como en la búsqueda de alternativas terapéuticas más sostenibles.

Figura 4

Representación esquemática del efecto de diversos antibióticos sobre las bacterias intestinales humanas.



Nota. Adaptado de: (Patangia et al., 2022)

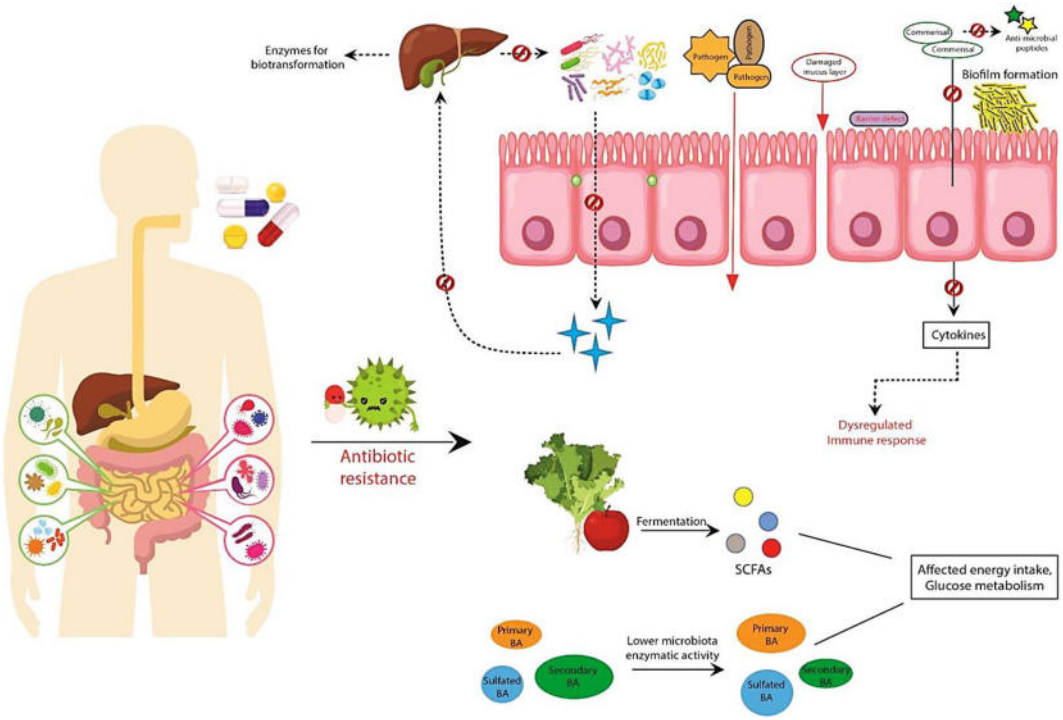
*El verde (izquierda) indica niveles crecientes, mientras que el rojo (derecha) indica niveles decrecientes.

El uso de antibióticos tiene un impacto directo sobre la célula bacteriana, interfiriendo en procesos esenciales como la síntesis de pared celular, proteínas o ácidos nucleicos. No obstante, su uso indiscriminado o prolongado ha contribuido significativamente al desarrollo de mecanismos de resistencia bacteriana. En este contexto, se han comenzado a investigar y proponer enfoques terapéuticos alternativos orientados a

reducir dicha resistencia, proteger el microbiota beneficioso y fortalecer la salud del huésped, minimizando así los efectos colaterales asociados al tratamiento con antibióticos.

Figura 5

Los impactos negativos en la salud del huésped debido al uso excesivo y mal uso de antibióticos



Nota. Adaptado de: (Patangia et al., 2022)

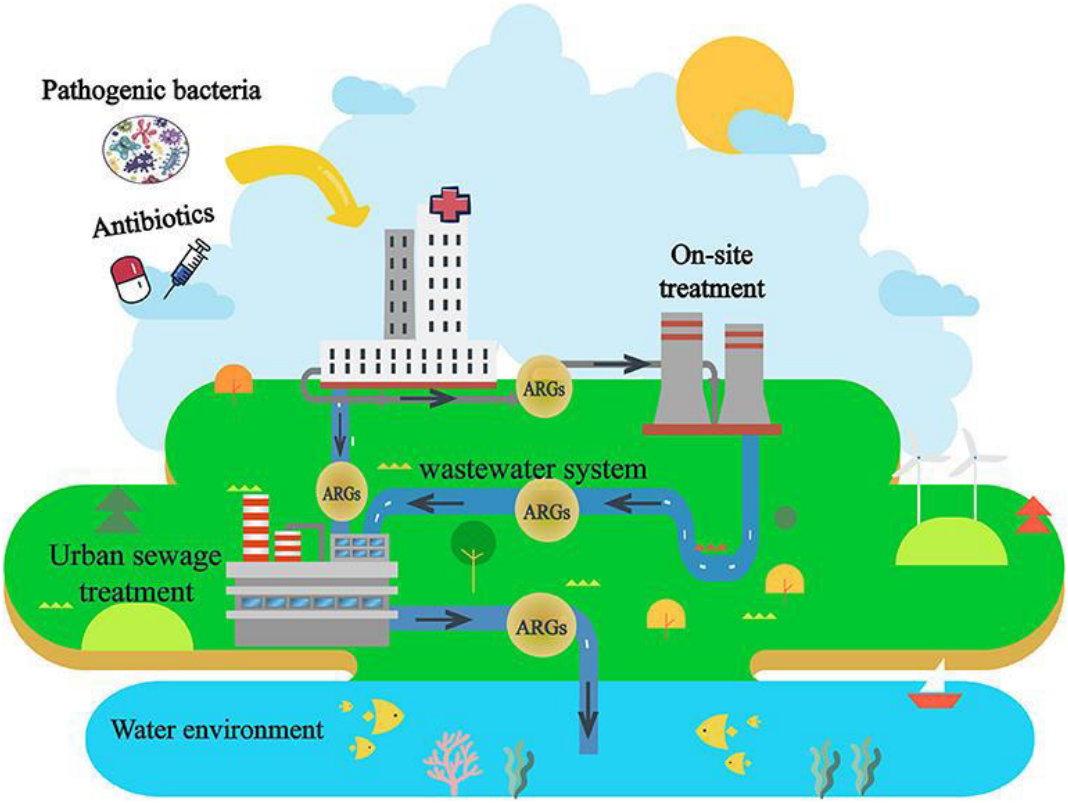
2.2.7 Presencia de contaminantes emergentes en PTARs

El uso extensivo de antibióticos en medicina humana, veterinaria y como promotores de crecimiento en la industria agropecuaria ha generado una creciente preocupación ambiental. Tras su administración, una fracción significativa de estos compuestos es excretada sin ser completamente metabolizada, alcanzando a las PTAR a través de las heces y la orina. A esta fuente se suma la disposición inadecuada de medicamentos no utilizados en hospitales, así como los residuos generados por animales de compañía (Li et al., 2023). Sin embargo, las PTAR convencionales carecen de sistemas diseñados para eliminar estos compuestos presentes en concentraciones muy bajas, lo que permite que los antibióticos permanezcan en los efluentes, se incorporen a cuerpos de agua superficiales y pueden causar efectos negativos en organismos acuáticos, además de alterar la microbiota y los microorganismos de los biorreactores biológicos, afectando la eficiencia del tratamiento (Zapata-Zúñiga et al., 2022).

La persistencia de antibióticos en las PTAR favorece el surgimiento y dispersión de genes de resistencia a los antibióticos (ARG), que pueden transferirse horizontalmente entre bacterias y patógenas, agravando el problema de la resistencia antimicrobiana (Drane et al., 2024). Frente a esta problemática, se han propuesto tecnologías emergentes como los Procesos de Oxidación Avanzada (AOP) combinados con tratamientos por membrana, que permiten la degradación química de los contaminantes y su posterior retención física. No obstante, la evaluación de la toxicidad residual es indispensable, ya que los productos intermedios generados pueden mantener o incluso aumentar la toxicidad del efluente (Li et al., 2023).

Figura 6

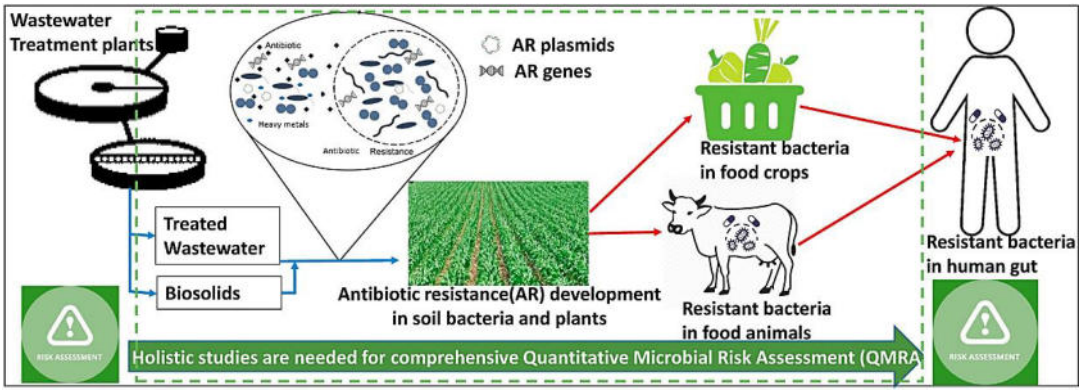
Flujo de ARG desde las aguas residuales hospitalarias al entorno acuático



Nota. Adaptado de: (S. Zhang et al., 2020)

Figura 7

Desarrollo de resistencia a los antibióticos y riesgos para la salud humana



Nota. Adaptado de: (Sorinolu et al., 2021)

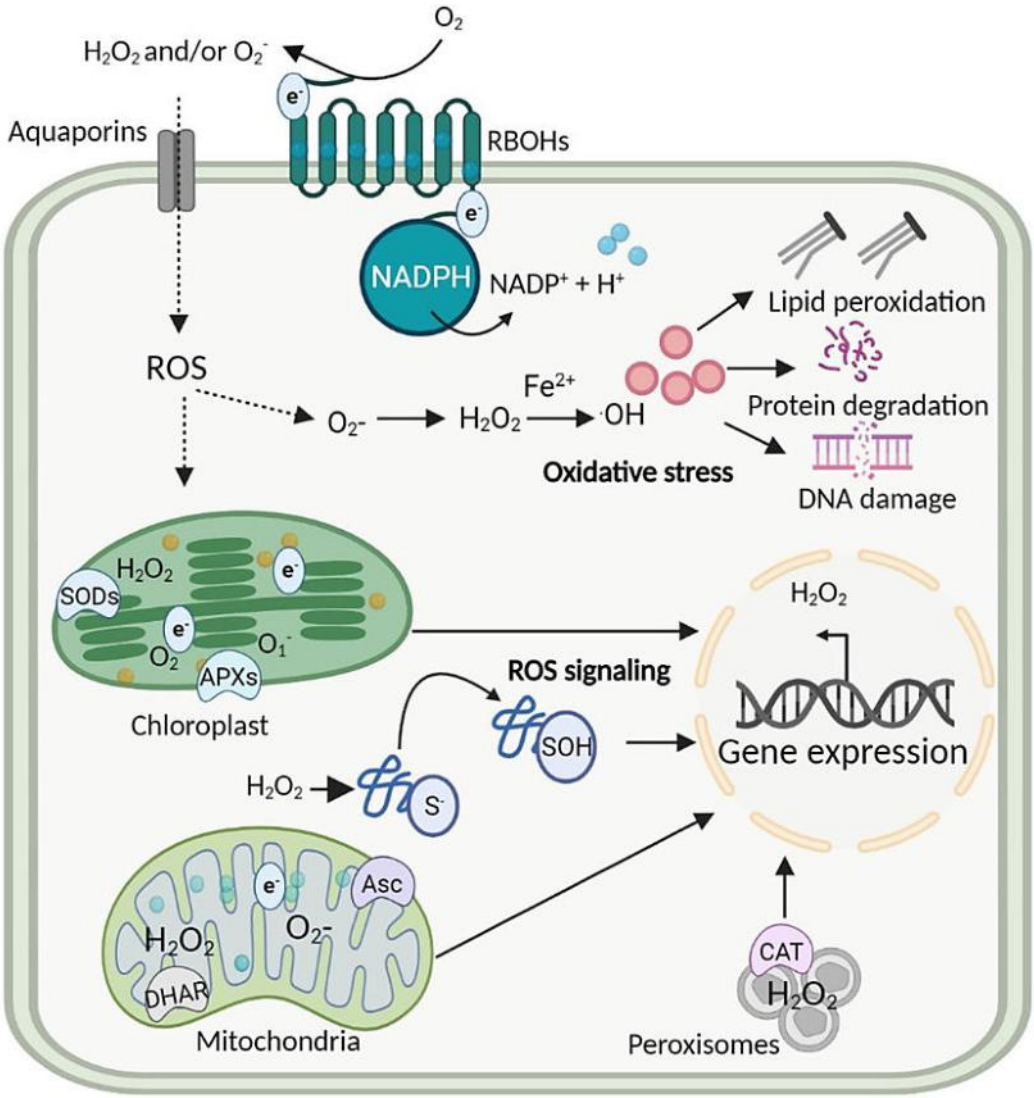
2.2.8 Respuestas fisiológicas de las plantas a los antibióticos

El flujo de electrones en los fotoreacciones de la fotosíntesis es fundamental para mantener los procesos de oxido-reducción necesarios para la generación de energía (ATP) y poder reductor (NADPH), ambos indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuando factores de estrés biótico o abiótico interfieren con estos pasos, la tasa fotosintética disminuye, comprometiendo el desarrollo vegetal normal (Rocha et al., 2021). Además, la alteración en el flujo electrónico puede desencadenar una acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que provoca estrés oxidativo. Esta acumulación daña irreversiblemente proteínas, lípidos, carbohidratos y ADN, afectando la función celular básica (Morales et al., 2020). En estudios recientes sobre la macrófita acuática *Lemna minor*, se ha demostrado que antibióticos como el Ciprofloxacino interrumpen el flujo de electrones en PSII, generando sobreexcitación de la clorofila y aumento de ROS, evidenciado por un incremento en la actividad de catalasa pero una respuesta defensiva insuficiente (Nunes et al., 2019).

La señalización del estrés oxidativo en los compartimentos celulares vegetales. Las ROS, como el O_{22} y el H_2O_2 , son producidas por las NADPH oxidasas, específicamente los RBOH en el apoplasto, acumulándose en el cloroplasto, las mitocondrias, los peroxisomas y los núcleos. La acumulación de H_2O_2 en presencia de F_2 + forma radicales hidroxilo e inicia el estrés oxidativo, que distorsiona la estructura de lípidos, proteínas y ADN. Posteriormente, la integración de enzimas como las SOD, APX, DHAR y CAT en los orgánulos celulares mantiene los niveles de ROS y la expresión génica (Riaz et al., 2022).

Figura 8

Señalización de las especies reactivas de oxígeno (ROS)



Nota. Adaptado de: (Riaz et al., 2022)

*2.2.9 **Cultivo de lechuga** (Lactuca sativa)*

a. Clasificación taxonómica de la Lechuga

En la **Tabla 1** se presenta la clasificación taxonómica de la lechuga.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de la lechuga

Reino:	Plantae (Plantas)
Filo:	Tracheophyta (Plantas vasculares)
Clase:	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae (Compuestas)

Género:	*Lactuca* L.
Especie:	*Lactuca sativa* L.
Nombre científico	*Lactuca sativa*

Nota. Adaptado de: (Alconero, 1988)

b. Exigencias agroecológicas del cultivo

El cultivo agroecológico de la lechuga requiere condiciones específicas para optimizar su desarrollo y rendimiento, integrando principios ambientales para una producción sostenible. Se necesita un suelo suelto, bien drenado, rico en materia orgánica y con una estructura trabajado a una profundidad de al menos 30 cm, lo que favorece el crecimiento radicular y la disponibilidad de nutrientes. La temperatura óptima para su germinación se ubica entre 18–20 °C, y durante el crecimiento, el rango ideal es de 14–18 °C, etapa en la que también requiere suelos ligeros, arenosos o limosos con pH entre 6,7–7,4 para evitar problemas de encharcamiento y enfermedades (Ruiz et al., 2020).

c. Composición química de la lechuga

La composición química de la lechuga se reporta en la **Tabla 2.**

Tabla 2

Composición química de la lechuga (en 100 g de parte comestible)

Componente	**Cantidad**
Agua	94,0 g
Proteínas	1,3 g
Carbohidratos	3,5 g
Calcio (Ca)	8,0 mg
Fósforo (P)	25,0 mg
Hierro (Fe)	1,4 mg
Potasio (K)	264,0 mg

Nota. Adaptado de: (MINSA, 2017)

2.2.10 Instrumentos normativos y gestión ambiental en relación al CIP

a. Codex alimentarius y límites máximos de residuos (MRLs)

La Comisión del Codex Alimentarius (CAC), creada por la FAO y la OMS, establece normas internacionales destinadas a garantizar la inocuidad de los alimentos y promover el comercio seguro a nivel global. Entre estas disposiciones se encuentran los

Límites Máximos de Residuos (MRLs) de medicamentos veterinarios, que contemplan diversos antibióticos como la amoxicilina, las tetraciclinas y las sulfonamidas. No obstante, hasta la fecha no se han definido MRLs específicos para el Ciprofloxacino de manera individual, lo que evidencia una limitación en su regulación. Si bien los MRLs se enfocan principalmente en alimentos de origen animal, sus lineamientos sientan bases conceptuales aplicables al control de contaminantes emergentes en vegetales y en otros productos alimenticios (FAO&WHO, 2021).

b. Código de práctica para minimizar la resistencia antimicrobiana (AMR)

El Codex Alimentarius elaboró el **Código de Práctica CXC 61-2005**, actualizado en 2021, que fomenta el uso responsable de antimicrobianos a lo largo de la cadena alimentaria bajo un enfoque One Health. Aunque no establece disposiciones específicas para el Ciprofloxacino, este instrumento normativo integra lineamientos que van desde las buenas prácticas agrícolas hasta el manejo poscosecha, almacenamiento y distribución de los alimentos, con el propósito de reducir la resistencia antimicrobiana y salvaguardar la inocuidad alimentaria a nivel internacional (FAO&WHO, 2021).

c. Evaluación de seguridad alimentaria (JECFA)

El Comité Conjunto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) realiza evaluaciones científicas sobre fármacos y sus residuos, estableciendo parámetros como la Ingesta Diaria Aceptable (ADI). Al día de hoy, no hay una ADI específica para Ciprofloxacino en vegetales, lo que refleja la carencia de regulación en este tipo de alimentos (FAO&WHO, 2021).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Fluoroquinolonas

Agentes bactericidas que actúan inhibiendo la DNA girasa, eficaces contra enterobacterias, bacilos gramnegativos, clamidias, micoplasmas y algunos cocos grampositivos. Presentan baja actividad frente a bacterias anaerobias (Godínez et al., 2023).

2.3.2 Hormesis

Fenómeno dosis-respuesta caracterizado por efectos beneficiosos de bajas dosis de un estresor, estimulando crecimiento o producción de metabolitos sin causar daño fisiológico (Hadacek et al., 2011).

2.3.3 Capacidad antioxidante

Propiedad de compuestos como los polifenoles para neutralizar radicales libres y prevenir daño oxidativo en células y tejidos, con implicancias en la salud humana (Watson Ross et al., 2018).

2.3.4 Factores estresantes ambientales

Condiciones externas que inducen respuestas adaptativas en plantas, promoviendo la síntesis de metabolitos secundarios como los polifenoles (Hadacek, 2002).

2.3.5 Estresores bióticos

Factores de origen biológico —como depredación, parasitismo o competencia— que afectan organismos y ecosistemas, desencadenando respuestas adaptativas (Godínez-Mendoza et al., 2023).

2.3.6 Estrés abiótico

Presión ejercida por factores no biológicos (temperatura, salinidad, pH, nutrientes), que puede alterar el crecimiento y la homeostasis de los organismos (Stiller et al., 2021).

2.3.7 Estímulos ambientales

Cambios físicos, químicos o biológicos del entorno que inducen respuestas fisiológicas o moleculares en los organismos, favoreciendo su adaptación (Erofeeva, 2022).

2.3.8 Fenotipos tóxicos

a. Especies reactivas de oxígeno (ROS).

Moléculas derivadas del oxígeno, como O_2^-, OH y H_2O_2, que participan en señalización celular, pero en exceso generan estrés oxidativo y daño celular (Shamim, 2016).

2.3.9 Metabolitos secundarios

Compuestos no esenciales para la supervivencia inmediata, pero con funciones adaptativas y defensivas; incluyen alcaloides, terpenos y compuestos fenólicos (Watson Ross et al., 2018).

a. Polifenoles.

Metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, presentes en frutas, verduras y granos, asociados a la prevención de enfermedades crónicas (Watson Ross et al., 2018).

IV. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Según el enfoque de la investigación el tipo de investigación es cuantitativa.

3.1.2 Nivel de investigación

Este estudio se inscribe en un nivel de investigación explicativa, orientada a establecer relaciones de causa y efecto entre variables. En estos diseños, como se define en la literatura, el investigador manipula deliberadamente una variable independiente para observar si genera cambios en una variable dependiente, lo que permite identificar efectos derivados de esa manipulación (Hernández et al., 2014). Según Tamayo y Tamayo (1994), la investigación explicativa pretende responder al porqué de los fenómenos, identificando los factores que los originan. Para ello resulta esencial el uso de un grupo control, ya que este posibilita realizar comparaciones y garantizar la validez experimental (Kerlinger, 2002).

3.2 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.2.1 Diseño completamente al azar

El estudio se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con distribución aleatoria de los tratamientos dentro del área de cultivo hidropónico para asegurar independencia entre unidades experimentales. En este estudio, las plantas seleccionadas para la toma de datos fueron únicamente las ubicadas en posición central dentro de cada unidad experimental, descartando las de los extremos para minimizar el efecto de borde, fenómeno que altera el crecimiento por diferencias en luz, ventilación y microambiente. estudios recientes en sistemas hidropónicos han reportado la exclusión de bandejas o plantas periféricas como una estrategia para garantizar la homogeneidad de las muestras analizadas. Por ejemplo, Bassu et al. (2025) excluyeron bandejas externas para evitar condiciones no controladas, mientras que Pereira et al. (2021) analizaron solo plantas intermedias en canales hidropónicos para garantizar uniformidad. De este modo, la elección metodológica de esta investigación se respalda en evidencia científica que asegura mayor homogeneidad de los datos obtenidos.

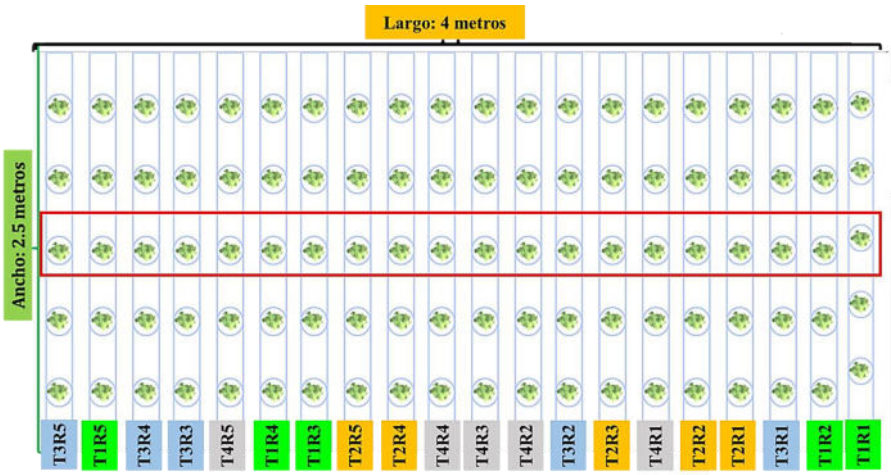
3.2.2 Detalle del diseño experimental para la aplicación radicular

En la aplicación radicular, el diseño experimental estuvo compuesta por 100 plantas de lechuga, cultivadas en un sistema hidropónico horizontal conformado por 20 tubos con cinco plantas en cada uno. El sistema operó con un volumen total de 250 L de solución nutritiva en recirculación, la cual se reabasteció interdiariamente con 80 L para

mantener las condiciones óptimas de cultivo. Se aplicaron cuatro tratamientos (control, 1, 5 y 10 µg/L de Ciprofloxacino), cada uno con cinco repeticiones, totalizando 20 plantas evaluadas.

Figura 9

Diseño Completamente al Azar para la aplicación radicular



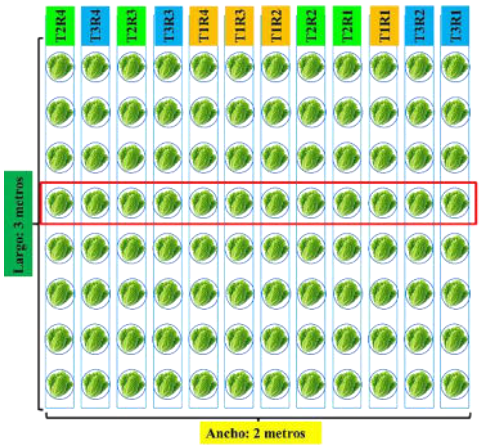
Nota. Elaboración propia

3.2.3 Detalle de la unidad experimental para la aplicación foliar

En la aplicación foliar, la unidad experimental estuvo conformada por 96 plantas de lechuga cultivadas en un sistema NFT, integrado por 12 tubos con ocho plantas cada uno. El sistema operó con 100 L de solución nutritiva en recirculación, reabastecida interdiariamente con 40 L. Se evaluaron tres tratamientos (control, 5 y 10 µg/L de CIP), aplicados foliarmente mediante atomizadores, cada uno con cuatro repeticiones, totalizando 12 plantas evaluadas.

Figura 10

Diseño Completamente al Azar para la aplicación foliar



Nota. Elaboración propia

3.2.4 Planteamiento de la hipótesis estadística

Las hipótesis de trabajo serán las siguientes:

H_0: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (No existe diferencia alguna en las cantidades de concentración de Ciprofloxacino en el sistema hidropónico)

H_a: $\mu_i \neq \mu_j$, para toda $i \neq j$; i, j=1; 2; 3; 4 (Al menos una cantidad de concentración de Ciprofloxacino es diferente)

Como Y_{ij} es la j-ésima observación; se esperan fluctuaciones por efecto del muestreo aleatorio; por lo que las Y_{ij} se desvían dentro de cada tratamiento en una cantidad ε_{ij} conocida como error residual o error dentro de tratamientos. Ello es expresado por:

$$\varepsilon_{ij} = Y_{ij} - \mu_j$$

Pero; cada respuesta Y_{ij} está dada por el efecto promedio; más el efecto de tratamiento; más cierta variación aleatoria; expresada por el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_j + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad \text{con i = 1; 2; 3; 4; j = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; …; 15}$$

3.2.5 Prueba de normalidad Shapiro Wilk

Previamente se aplicó una prueba estadística de Shapiro Wilk, para determinar los supuestos de normalidad, para evaluar si los datos obtenidos siguen una distribución normal.

- Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

  El valor de probabilidad (ρ) > nivel de significancia (0.05)

- Se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

  El valor de probabilidad (ρ) < nivel de significancia (0.05)

3.2.6 Prueba de homogeneidad de varianzas-Prueba de Levene

Luego de obtener que todos los tratamientos eran normales, se procedió a realizar la prueba de homogeneidad de varianzas con el fin de evaluar si las varianzas de dos o más grupos de datos eran iguales.

- Si el nivel de significancia fue superior a 0.05, no se evidenció diferencia entre las varianzas de las muestras. Se mantuvo la hipótesis nula y no se encontró diferencia entre las varianzas.
- Si el valor p o la significación fue inferior a 0.05, se supuso que la varianza no era homogénea en función de los datos disponibles. Se aceptó la hipótesis alterna y se rechazó la hipótesis nula.

3.2.7 Modelo estadístico del ANOVA

La Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA) para un Diseño Completamente al Azar (DCA) estará definida por:

Tabla 3

Tabla de ANOVA para el DCA de la aplicación radicular

Fuentes de variación (FV)	**Grados de libertad (GL)**	**Suma de cuadrados (SC)**	**Cuadrados medios (CM)**	**F. calculado (FC)**
Tratamientos	3	$SC_{TRATAMIENTO}$	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$
Error exp.	16	SC_{ERROR}	$\frac{SC_{ERROR}}{N-k}$	
Total	19	SC_{TOTAL}		

Tabla 4

Tabla de ANOVA para el DCA de la aplicación foliar

Fuentes de variación (FV)	**Grados de libertad (GL)**	**Suma de cuadrados (SC)**	**Cuadrados medios (CM)**	**F. calculado (FC)**
Tratamientos	2	$SC_{TRATAMIENTO}$	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$
Error exp.	9	SC_{ERROR}	$\frac{SC_{ERROR}}{N-k}$	
Total	11	SC_{TOTAL}		

Para ello se requieren las siguientes notas:

- Los grados de libertad de los tratamientos es igual al número de tratamientos menos uno: (k-1)
- Los grados de libertad del error se obtiene por la diferencia: (N-k)
- Los grados de libertad del total es igual al número total de datos menos uno: (N-1)

a) Las Sumas de Cuadrados

- $$SC_{TOTAL} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_{ij} - \overline{Y}_{..}\right)^2$$
- $$SC_{TRATAMIENTOS} = n\sum_{i=1}^{k}\left(\overline{Y}_{i.} - \overline{Y}_{..}\right)^2$$
- $$SC_{ERROR} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^{k}\frac{Y_{i.}^2}{n_i}$$

b) Del cociente: $\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$ se tiene que H_0 se debe rechazar si el valor de F_0 es demasiado grande.

3.2.8 Prueba de comparación de medias-Prueba de Duncan

Tras el rechazo de H_0, se aplicaron pruebas de comparación múltiple posteriores al ANOVA para identificar medias con diferencias significativas. Se calculó un valor crítico a partir del cuadrado medio del error y se compararon las diferencias absolutas entre pares de medias con dicho valor; si lo superaban, se consideraron distintas, y en caso contrario, iguales.

3.2.9 Materiales, equipos y reactivos

a. Materiales

- Botellas de PET color ámbar (250 y 500 mL)
- Columna Atlantis T3 (100Å, 3 µm, 4.6 mm, 150 mm)
- Embudos de vidrio
- Filtros de celulosa (0,45 µm)
- Filtros de nylon (0,22 µm)
- Fiolas (5, 10, 50, 250, 500, 1000 mL)
- Mallas de tamiz (300 y 500 µm)
- Matraces Erlenmeyer (50, 100 y 250 mL)
- Membrana de nylon (0,20 µm)
- Micropipetas (10, 50, 100 y 1000 µL)
- Papel aluminio (12 µm de espesor, calibre 35)
- Papel filtro (Whatman N°1 de 0,2 µm)
- Papel parafilm (127 µm de espesor)
- Placas de 96 pocillos (Transparentes y negras, capacidad de 400 µL)
- Pipetas de vidrio (1 y 10 mL)
- Probetas de vidrio (50, 100, 250 mL)
- Puntas de micropipetas (10, 100 µL y 1000 µL)
- Tubos Falcon (50 mL)
- Vasos de precipitados de vidrio (20, 50, 100, 250 mL)
- Viales de plástico (2 mL)
- Viales de vidrio (500 mL)
- Viales de cromatografía color ámbar (1,5 mL)

b. Equipos

- Congelador vertical, marca Samsung, modelo Rh25h5613sg.
- Agitador con control térmico, tipo termomagnético, marca Thermo Scientific, línea Cimarec.
- Balanza analítica de precisión, modelo ENTRIS224-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co., Goettingen, Alemania.
- Balanza gravimétrica, modelo MX-50, marca H.W. Kessel.
- Baño maría digital, capacidad de 22 litros, marca IsoLab.
- Centrífuga de laboratorio, modelo GP6, marca Pro Hospital.
- Sistema de LC/MS de triple cuadrupolo Agilent 6475.
- Extractor de líquidos presurizados, modelo ASE 150, marca Dionex, Thermo Scientific, USA.
- Espectrofotómetro UV-Vis, modelo Genesys 150, Thermo Scientific, Madison, WI, USA.
- Lector de microplacas, modelo Synergy HTX, Biotek Instruments Inc., Winooski, VT, USA.
- Lector de microplacas Fluoroskan, marca Thermo Scientific.
- Licuadora industrial, línea Artisan, marca Kitchen Aid.
- Purificador de agua tipo I, modelo Smart2Pure3 UV/UF, Thermo Scientific.
- Rotavapor, modelo Hei-Vap Ultimate Control, marca Heidolph, Alemania.
- Liofilizador de laboratorio, modelo FreeZone 2.5 L, marca Labconco, Thermo Fisher Scientific, MA, USA.
- Tamizador, modelo Analysette 3 Pro, marca Fritsch, Idar-Oberstein, Alemania.
- Agitador vortex, modelo MIX-30S, marca Eurotech.

c. Insumos y Reactivos

- Acetato de Amonio (≥99% de pureza)
- Ácido acético (≥99,5% de pureza)
- Ácido fórmico (≥99% de pureza)
- Ácido clorhídrico (HCl) 0.01 M
- Acetonitrilo (≥99,5% de pureza, grado LC/MS)
- Etanol (≥99,5% de pureza)

- Metanol (≥99,9% de pureza, grado LC/MS)
- Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico Trolox (≥98% de pureza)
- Ácido gálico (≥97,5% de pureza)
- 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH, ≥90% de pureza)
- Fluoresceína (≥95% de pureza)
- Hidróxido de sodio (0,1 N)
- Reactivo Fenol-Folin Ciocalteu (2 N)
- Gas Nitrógeno (≥99,99% de pureza)
- Agua destilada
- Agua Mili-Q

3.3 Métodos y técnicas para la ejecución de la investigación

3.3.1 Metodología para implementar el cultivo de la lechuga en sistema hidropónico

a. Manejo de cultivo, tipo de agua y parámetros climáticos.

Durante el desarrollo del experimento, las soluciones nutritivas se mantuvieron entre 15 y 18 °C, lo que evitó una reducción en la absorción de nutrientes. Las plantas se establecieron en canales con una distancia de 20 cm entre cada orificio, y se mantuvo una pendiente de 1.5 a 2 % para garantizar un flujo uniforme de la solución. Se utilizó agua tipo II (osmotizada) para la preparación de las soluciones nutritivas, a fin de evitar contaminantes que pudieran interferir en la respuesta del cultivo. Finalmente, el ensayo se desarrolló bajo condiciones climáticas controladas, con una temperatura ambiente promedio de 26 °C y una humedad relativa cercana al 85 %, parámetros que aseguraron un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas.

b. Implantación y cuidado de plántulas de lechuga

Esta metodología fue adaptada de Paradiso et al., (2017), con algunas modificaciones. Las plántulas, previamente cultivadas en turba durante un periodo de 4 a 6 semanas, fueron trasplantadas utilizando una mezcla de turba y perlita en proporciones 1:1 o 4:1 (v/v), con el objetivo de garantizar un adecuado drenaje y una óptima oxigenación del sistema radicular. La perlita se empleó como sustrato principal en las canastillas de soporte destinadas al establecimiento de las plántulas. El sistema de riego implementado correspondió a un sistema hidropónico de flujo continuo, mediante el cual se suministró la solución nutritiva a través de tuberías. Durante los dos primeros días, el riego se programó por intervalos de 20 minutos cada hora, con el fin de favorecer la adaptación inicial de las

plántulas al sistema; posteriormente, se ajustó el suministro de solución únicamente al periodo diurno, entre las 5:00 a.m. y las 8:00 p.m.

c. Manejo del cultivo de Lechuga hidropónica

El manejo del cultivo se realizó bajo condiciones ambientales controladas, utilizando soluciones nutritivas comerciales A, B y C de la marca Hidroponika, previamente diluidas en agua osmotizada en la proporción 1:4:4 (v/v/v). Para el sistema horizontal empleado en la aplicación radicular, el abastecimiento de la solución nutritiva se efectuó de manera interdiaria, suministrando 80 litros en total (equivalente a 20 litros por cada bandeja de recirculación o tratamiento). En el caso de la aplicación foliar, el suministro se realizó también de forma interdiaria, incorporando 60 litros de solución nutritiva, lo que permitió mantener las raíces constantemente húmedas o parcialmente inundadas en el sistema hidropónico, asegurando así un adecuado desarrollo del cultivo.

d. Monitoreo de las variables intervinientes

El monitoreo de los parámetros ambientales se realizó empleando un Termohigrómetro digital GOVEE H5075, dispositivo que registra en tiempo real la temperatura y la humedad relativa del ambiente. El equipo permitió la descarga de la información en distintos intervalos de tiempo (horas, días o meses), lo que brindó flexibilidad en el manejo de la base de datos.

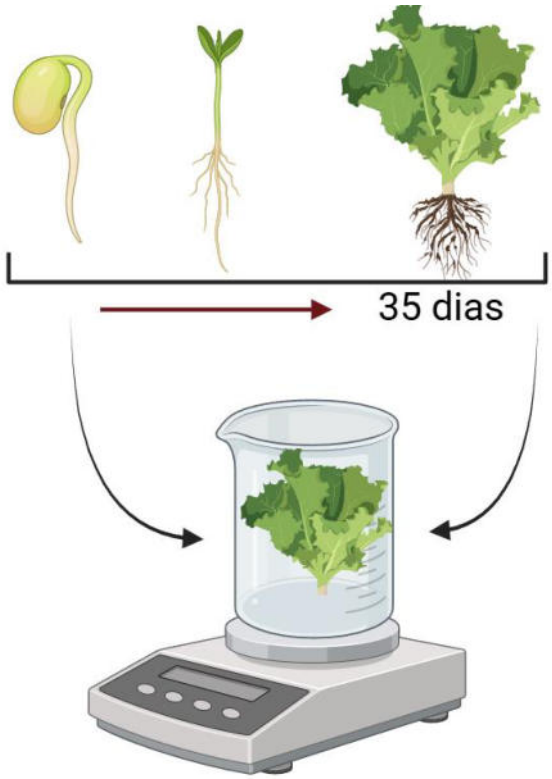
Dado que el proceso de crecimiento de la planta tuvo una duración de 35 días, la información fue descargada de manera diaria, abarcando el periodo comprendido entre el 3 de noviembre al 9 de diciembre de 2024. La transferencia de los datos se efectuó a través de la conectividad Bluetooth del dispositivo, lo cual garantizó la accesibilidad y la digitalización de los reportes obtenidos.

3.3.2 Metodología de cuantificación de la biomasa aérea

La estimación de biomasa aérea fresca se realizó al finalizar el ciclo de cultivo, luego de 35 días de crecimiento de las plantas de lechuga. En esta etapa, se procedió a la cosecha manual, extrayendo cuidadosamente cada planta completa. Posteriormente, se separaron los órganos subterráneos (raíces) de la biomasa aérea mediante corte, siguiendo un protocolo de medición destructiva similar al descrito por Chamoli et al., (2024). Cada muestra de biomasa aérea fue pesada inmediatamente después de la cosecha utilizando una balanza gramera de precisión (sensibilidad en miligramos), registrándose individualmente los valores correspondientes a cada tratamiento evaluado. Este procedimiento permitió obtener datos fiables sobre la masa fresca por planta, lo cual es fundamental para comparar el rendimiento vegetal bajo diferentes condiciones experimentales.

Figura 11

Procedimiento para la medición de la biomasa aérea fresca



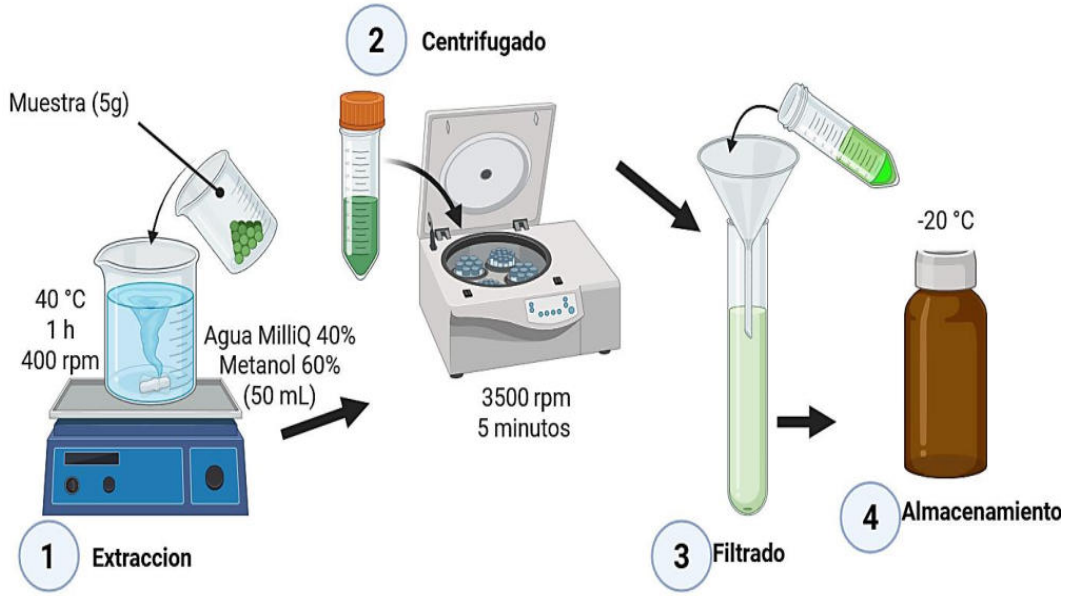
Nota. Elaboración propia

3.3.3 Extracción solido-liquido (ESL)

Se aplicó una metodología de extracción sólido-líquido basada en el protocolo convencional descrito por Beratto-Ramos et al. (2019), con algunas adaptaciones. Para ello, se pesó 5 gramos de lechuga, previamente triturada hasta alcanzar un tamaño aproximado de 0,5 mm, y se colocó en un vaso de precipitado junto con 50 mL de una solución de metanol al 60 %, manteniendo una relación masa-volumen de 1:10. Con el fin de minimizar la oxidación por exposición a la luz, los vasos fueron cubiertos con papel aluminio, y la parte superior fue sellada con parafilm para evitar la evaporación de los solventes. Las mezclas fueron sometidas a agitación constante durante una hora, a una velocidad de 400 rpm y a una temperatura controlada de 40 °C, utilizando un agitador termomagnético. Finalizada esta etapa, las soluciones se centrifugaron a 3500 rpm durante 5 minutos y se filtraron con ayuda de un embudo de vidrio y papel filtro Whatman N.º 1, recolectando los extractos en probetas de 50 mL. Estas se aforaron con el mismo solvente utilizado en la extracción y, finalmente, los extractos se almacenaron en frascos oscuros a una temperatura de –20 °C para su conservación.

Figura 12

Proceso convencional de extracción de polifenoles



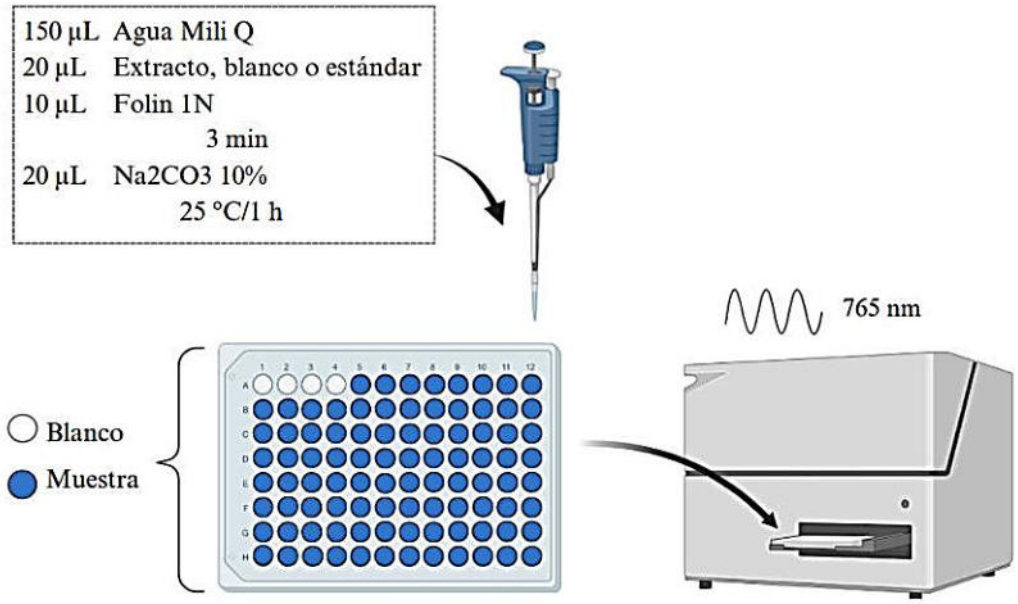
Nota. Adaptado de: Beratto-Ramos et al. (2019)

3.3.4 Metodología de contenido de polifenoles totales (CPT)

El contenido total de polifenoles (CPT) en los extractos crudos de lechuga fue determinado mediante el ensayo colorimétrico de Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología descrita por Otero et al. (2019), con algunas modificaciones. En primer lugar, se determinó el contenido de humedad de las muestras utilizando una balanza gravimétrica, lo que permitió calcular los valores en gramos base húmeda (gbh) y base seca (gbs). Para la medición, se utilizaron microplacas de 96 pocillos, en las que se añadieron 150 µL de agua Milli-Q, 20 µL del extracto diluido (1:5), del blanco (solvente) o del estándar, y 10 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu al 1 N. Luego de un reposo de 3 minutos, se añadieron 20 µL de una solución de Na_2CO_3 al 10 %, y la mezcla se dejó reaccionar en la oscuridad a temperatura ambiente durante una hora. Finalizado el tiempo de reacción, se midió la absorbancia a 765 nm con un lector de microplacas. Los valores obtenidos se aplicaron en la ecuación de la curva de calibración ($y = 10.015x + 0.0096$), correspondiente al rango de concentración de 20–80 µg/mL. Para determinar la concentración de polifenoles, se despejó el valor de "x" en la ecuación, sustituyendo "y" por la absorbancia registrada. Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG) por gramo de muestra seca (gbs) de lechuga.

Figura 13

Cuantificación de polifenoles totales equivalentes de ácido gálico



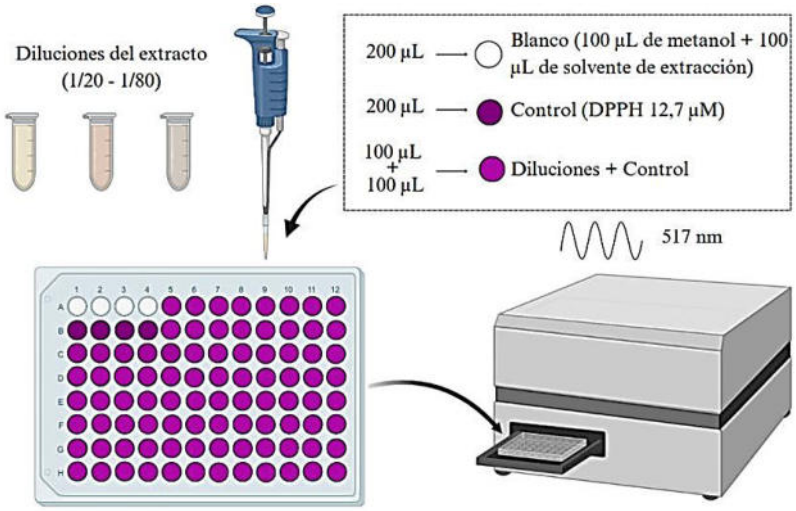
Nota. Adaptado de: (Otero et al., 2019)

3.3.5 Metodología para la determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

La capacidad antioxidante de los extractos de lechuga fue determinada mediante el método del radical libre DPPH, siguiendo la metodología propuesta por Erpel et al. (2023), con ajustes menores. Se prepararon tres diluciones del extracto en metanol en proporciones 1:20, 1:40 y 1:80, correspondientes a diferentes concentraciones finales. En microplacas de 96 pocillos se colocaron 100 µL de cada dilución de extracto y se mezclaron con 100 µL de una solución de DPPH (12,17 µM) recién preparada en metanol. Las mezclas fueron homogeneizadas mediante agitación suave y luego incubadas en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos para evitar la fotodegradación del radical. Transcurrido el tiempo de reacción, se midió la absorbancia a 517 nm utilizando un lector de microplacas. Como blanco se empleó una mezcla de 100 µL de metanol y 100 µL del solvente de extracción, mientras que como control se utilizó únicamente la solución DPPH (200 µL). A partir de las absorbancias registradas se calculó el porcentaje de inhibición (%I) utilizando la fórmula $\%I = [(Abs\ control - Abs\ muestra)/Abs\ control] \times 100$. Posteriormente, los valores de %I fueron graficados en función de la concentración del extracto, obteniéndose la ecuación de la recta correspondiente a cada muestra. Con dicha ecuación se estimó el valor de IC_{50} (mg/mL), definido como la concentración del extracto necesaria para inhibir el 50 % de la actividad del radical DPPH, indicador de su capacidad antioxidante.

Figura 14

Análisis de capacidad antioxidante por el método 2;2-Difenil-1-Picrilhidrazilo



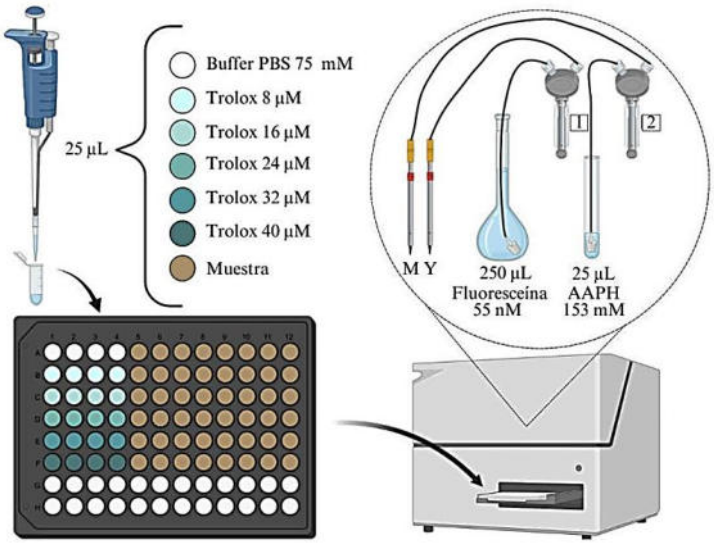
Nota. Adaptado de: (Erpel et al., 2023)

3.3.6 Determinación de la capacidad antioxidante por ORAC

La capacidad antioxidante de los extractos de lechuga fue evaluada mediante el método ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno), siguiendo la metodología descrita por Chirinos et al. (2008), con adaptaciones específicas al tipo de muestra vegetal. El análisis se basó en el uso del compuesto AAPH como generador de radicales peroxilo, Trolox como estándar de referencia para la curva de calibración, y fluoresceína como marcador fluorescente. Se preparó un tampón fosfato (PBS) a 75 mM y pH 7,4, utilizando KH_2PO_4 y K_2HPO_4 disueltos en agua Milli-Q. A partir del PBS, se elaboraron soluciones de trabajo: fluoresceína (55 nM), AAPH (153 nM) y Trolox (0,0002 M). Los extractos de lechuga se diluyeron en PBS en proporciones entre 1:120 y 1:300, mientras que las diluciones para la curva estándar de Trolox se establecieron en un rango de 8 a 40 µM. En una microplaca negra de 96 pocillos se añadieron 25 µL de PBS, extracto diluido o estándar. Luego, la placa fue colocada en un lector de microplacas con control de temperatura, donde se inyectaron 250 µL de fluoresceína, seguida de agitación continua a 600 rpm durante 10 s. Tras una incubación de 10 min a 37 °C, se inició la fase cinética durante 60 minutos, con lecturas fluorescentes tomadas cada minuto (λ excitación: 485 nm, λ emisión: 520 nm), inmediatamente después de la inyección de 25 µL de AAPH. La capacidad antioxidante fue calculada con base en el área bajo la curva de decaimiento de fluorescencia, comparándola con la curva estándar de Trolox. Los resultados finales se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra seca (µmol TE/gbs) de lechuga.

Figura 15

Protocolo de Capacidad de Absorción de Radicales de Oxigeno (ORAC)



Nota. Adaptado de: (Chirinos et al., 2008)

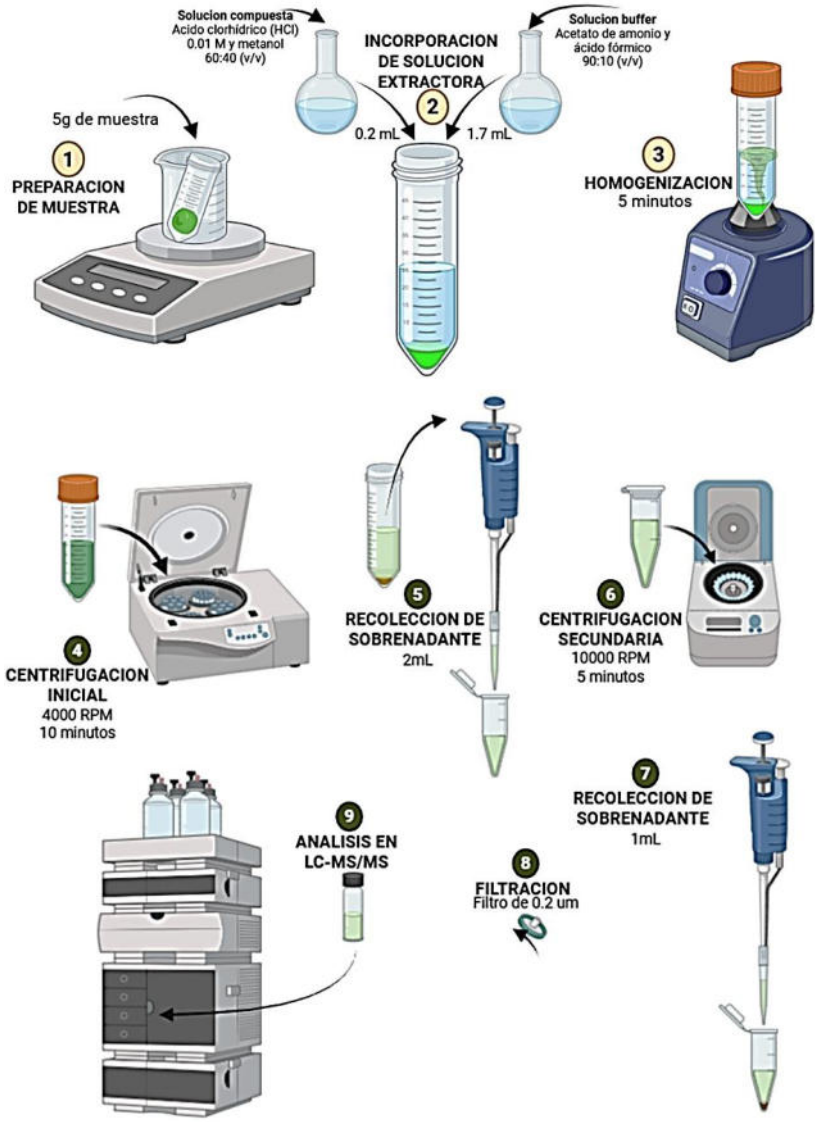
3.3.7 Evaluación de residuos de Ciprofloxacino en tejido vegetal

a. Preparación, extracción y análisis de muestras

La detección y cuantificación de residuos de Ciprofloxacino en tejido vegetal se llevó a cabo mediante una metodología adaptada de Eggen et al. (2011), basada en la extracción química y análisis instrumental. Inicialmente, se pesaron 5 gramos de biomasa de lechuga utilizando una balanza analítica de alta precisión, los cuales se colocaron en tubos de ensayo limpios. Para iniciar la extracción, se añadió 0,2 mL de una solución compuesta de ácido clorhídrico (0,01 M) y metanol en una proporción 60:40 (v/v). Posteriormente, se incorporaron 1,7 mL de una solución buffer de acetato de amonio y ácido fórmico (90:10 v/v) para estabilizar el pH durante el proceso. La mezcla fue homogeneizada por agitación en un vortex durante 5 minutos, facilitando la liberación del Ciprofloxacino desde la matriz vegetal. Luego, se realizó una centrifugación inicial a 4000 rpm por 10 minutos para separar sólidos del sobrenadante, el cual fue cuidadosamente transferido a tubos Eppendorf estériles para evitar contaminación. A continuación, se sometió a una segunda centrifugación a 10 000 rpm durante 5 minutos, con el objetivo de eliminar partículas finas en suspensión. Finalmente, se filtró 1 mL del sobrenadante purificado a través de filtros de 0,2 µm y se transfirió a viales de vidrio para su posterior análisis cromatográfico por UHPLC, garantizando así la obtención de un extracto limpio y adecuado para la cuantificación precisa del antibiótico residual.

Figura 16

Análisis de residuo de CIP en tejido vegetal en LC-MS Agilent 6475



Nota. Adaptado de: (Eggen et al., 2011)

b. Condiciones cromatográficas, linealidad, precisión, límite de detección y cuantificación

Para el análisis se utilizó la técnica de cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS), empleando un sistema 6475 Triple Quadrupole LC/MS (Agilent Technologies), conforme a metodología previamente validada por Mula et al. (2023), la separación se realizó en una columna Atlantis T3 (3.0 µm, 3.0 × 100 mm, 100 Å), a 35 °C, con un volumen de inyección de 2 µL y flujo de 0.2 mL/min. La fase móvil consistió en eluyente A (agua con 0.1% de ácido fórmico) y eluyente B (acetonitrilo con 0.1% de ácido fórmico), aplicando un gradiente desde 90:10 hasta 40:60 (A:B) en 6 minutos, con reequilibrio final a 90:10. El análisis en el

espectrómetro de masas se realizó en modo de ionización positiva (+3500 V) y negativa (−3000 V), con flujo de gas nebulizador de 11 L/min, presión de 35 psi, flujo de gas de protección de 12 L/min, temperatura de gas de 200 °C y temperatura del gas de protección de 350 °C.

Tabla 5

Condiciones cromatográficas del LC-MS/MS

Condiciones de HPLC			
Columna	Atlantis T3 (3.0 µm, 3.0 × 100 mm, 100 Å)		
Fase móvil A	0.1% de ácido fórmico en agua		
Fase móvil B	0.1% de ácido fórmico en acetonitrilo		
Gradiente	Tiempo (min)	%A	%B
	0.00	90.00	10.00
	6.00	40.00	60.00
	8.00	50.00	50.00
	8.10	80.00	20.00
	10.00	90.00	10.00
Flujo	0.2 mL/min		
Temperatura de la columna	35 °C		
Volumen de inyección	2 µl		
Tiempo de análisis total	10 minutos		
Condiciones de MS/MS			
Modo de ionización	+ ESI		
Temperatura de gas	200 °C		
Flujo de gas	11 L/min		
Nebulizador	35 psi		
Temperatura del gas de focalización	350 °C		
Flujo de gas de focalización	12 L/min		
Tensión del capilar	+3500 V y −3000 V		
Tensión de la boquilla	0 V		

Nota. Adaptado de: (Mula et al., 2023)

La linealidad del método se verificó mediante la construcción de una curva de calibración externa para el Ciprofloxacino, la cual presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.99966419$, correspondiente a la siguiente ecuación:

Tabla 6

Ecuación lineal de la curva de calibración

Compuesto	Ecuación
Ciprofloxacino	y=1274361.066260x + 5567.454648

Los valores obtenidos de límite de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ) fueron obtenidos a partir de la mínima concentración de 0.001 µg/mL.

Tabla 7

Limite de detección (LOD) y límite de cuantificación (LOQ) para el CIP

Compuesto	Concentración (µg/mL)	Señal de Ruido	LOD (ng/mL)	LOQ (ng/mL)
Ciprofloxacino	0.001	790.8	0.00379363	0.01251897

Para el compuesto evaluado, el coeficiente de variación (CV) fue menor al 20%, lo cual indica que el método presentó una buena precisión bajo condiciones de repetibilidad para la concentración de 0.05 µg/mL. En la **Tabla 8**, se muestra el % de recuperación, la desviación estándar y el coeficiente de variación del compuesto analizado:

Tabla 8

Pruebas de precisión a partir de fortificados en concentración de (0.05 ug/mL)

Conc. fortificada	Conc. recuperada	% de Recuperación	Promedio de % de recuperación	CV
CIP (0.05 µg/mL)	0.0616	123%		
CIP (0.05 µg/mL)	0.0518	104%		
CIP (0.05 µg/mL)	0.0494	99%	106%	4.1%
CIP (0.05 µg/mL)	0.0515	103%		
CIP (0.05 µg/mL)	0.0511	102%		

3.4 Análisis de datos

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software R Studio versión 4.2.1 en un sistema Windows. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor después de verificar que cumplían con los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Luego, en caso ser necesario se realizó una prueba de contraste (Test de Duncan), con un nivel de significancia (alfa) de 0.05, para determinar la presencia de diferencias significativas en los datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y la discusión se organizaron por objetivos específicos, delineando los efectos de la dosis de Ciprofloxacino sobre las características físicas de la planta, la concentración y capacidad antioxidante de los polifenoles, así como el residuo de Ciprofloxacino en tejido vegetal.

3.5 Reportes de Humedad Relativa y Temperatura

Figura 17

Reporte de temperaturas máximas y mínimas del 2024

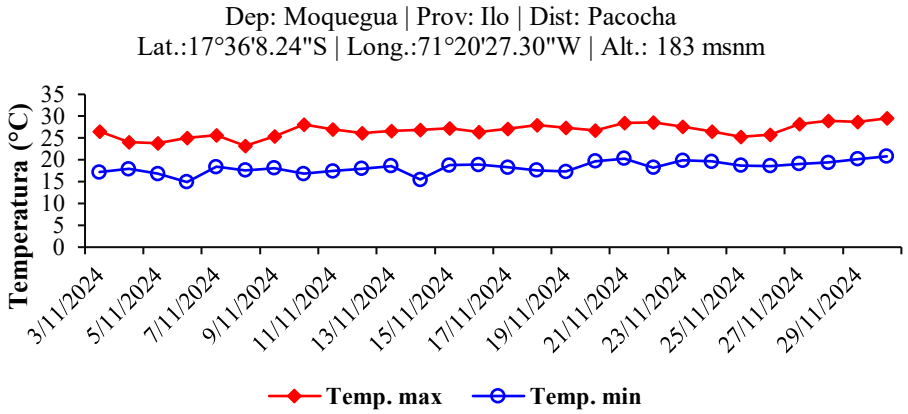
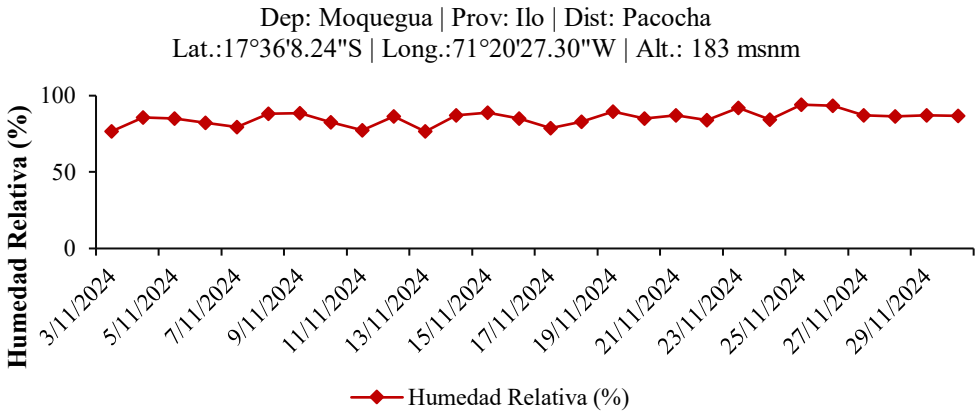


Figura 18

Reporte de valores de Humedad Relativa del 2024



Los registros de temperatura máxima, mínima y humedad relativa se obtuvieron mediante un Termohigrómetro digital GOVEE H5075, equipo que permite la medición de parámetros ambientales en tiempo real y la descarga de reportes en diferentes intervalos (horas, días o meses). Esta característica resulta fundamental para estudios de monitoreo continuo, ya que asegura una base de datos precisa y confiable para el análisis de las condiciones microclimáticas que influyen directamente en el crecimiento de las plantas.

En el presente estudio, considerando que el ciclo de evaluación del cultivo tuvo una duración de 35 días, se optó por la descarga diaria de la información generada por el dispositivo, comprendiendo el periodo del 3 de noviembre al 09 de diciembre del 2024. Durante este lapso, se obtuvo un promedio de temperatura máxima de 26.7 °C y una temperatura mínima promedio de 18.3 °C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 85.2 %. Estos valores reflejan un ambiente moderadamente cálido y con una alta disponibilidad de humedad, condiciones que resultan relevantes para el análisis del desarrollo fisiológico y la respuesta del cultivo bajo estudio.

Diversos estudios científicos respaldan que mantener niveles de humedad relativa alrededor del 85 ± 2 % favorece el crecimiento de plantas al facilitar la apertura de las estomas, lo que mejora la fotosíntesis y reduce la pérdida de agua por evaporación. En *Lactuca sativa*, por ejemplo, se ha pronosticado que un aumento de la humedad relativa del 10 % podría generar incrementos de "longitud foliar, ancho foliar y peso seco aéreo" en torno a 10 ± 3 %, 2 ± 5 % y 28 ± 3 %, respectivamente, y se identifica el rango óptimo de humedad en torno al 85 % (Chia & Lim, 2022).

Además, se ha observado que la resistencia estomática aumenta en ambientes con baja humedad, lo que limita la captación de CO_2 y reduce la eficiencia de la fotosíntesis. En contraste, niveles de humedad moderadamente altos permiten mantener las estomas abiertas, optimizando el metabolismo y el desarrollo vegetal. Las condiciones registradas durante este estudio —una humedad relativa promedio de 85.2 %, junto con temperaturas promedio de 26.7 °C (máximas) y 18.3 °C (mínimas)— crearon un ambiente favorable para el desarrollo acelerado de las plantas, permitiendo que alcanzaran su completa madurez en solo 35 días.

3.6 Peso de la biomasa aérea en la aplicación radicular

Los resultados sobre el peso de la biomasa aérea fresca de la lechuga se presentan en la **Tabla 9 y Figura 19.**

3.6.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, no incrementa significativamente su biomasa aérea.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa significativamente su biomasa aérea.

3.6.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor **Tabla 9,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 9

ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación radicular de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	p-valor	Sig.
Tratamientos	3	0.021433	0.007144	153.2	5.38e-12	***
Error exp.	16	0.000746	0.000047			
Total	19	0.022179				

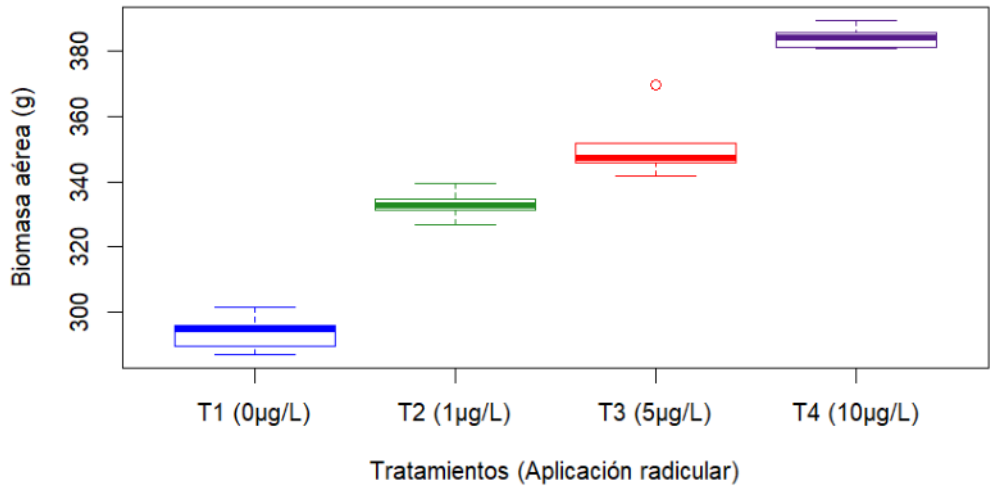
Nota. * : Significativo (0.01 < p < 0.05) o significativo al 5%; *** : Altamente significativo (p <0.01) o significativo al 1%

3.6.3 Contrastación

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p < 0.001 lo cual es menor al nivel significancia; se contrasta que se acepta la hipótesis alterna. Por el contrario, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que, a través de la aplicación radicular de Ciprofloxacino en la lechuga hidropónica, se obtuvo una diferencia altamente significativa a un 99%, se concluye que la presencia de Ciprofloxacino en el agua de riego origina un efecto en la biomasa aérea de la planta.

Figura 19

Gráfico de la biomasa aérea de la planta en la aplicación radicular



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Tabla 10

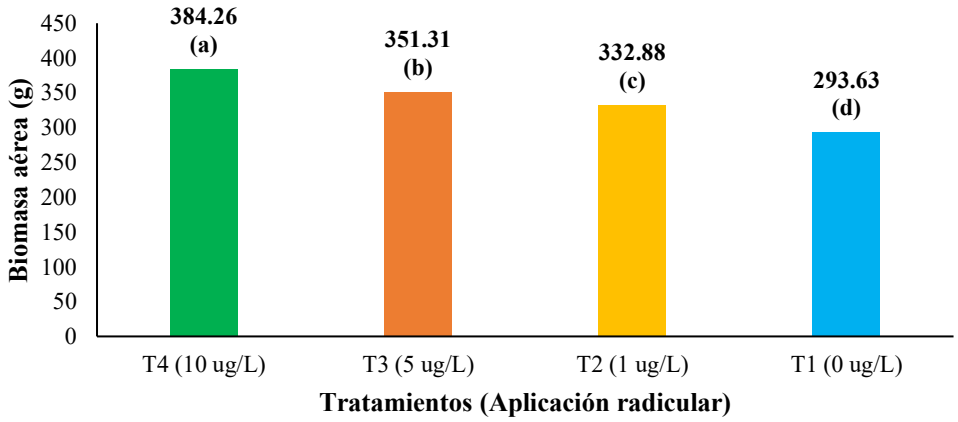
Prueba de Duncan para la biomasa aérea en la aplicación radicular

N° de orden	Tratamientos	$\bar{X}$	Significación (0.05)	Merito
1	T4 (10 ug/L)	384.26	a	1°
2	T3 (5 ug/L)	351.31	b	2°
3	T2 (1 ug/L)	332.88	c	3°
4	T1 (0 ug/L)	293.63	d	4°

$\bar{X}$: Representa el promedio. La biomasa aérea se expresa en gramos.

Figura 20

Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación radicular de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.6.4 Interpretación

En lo que respecta a la biomasa aerea, se vio afectada de manera significativa ($p < 0.05$) donde a una dosis de 10 µg/L aumenta significativamente la biomasa aérea en un 30.87% en comparación con el control. Esto sugiere que el antibiótico actúa como estímulo del crecimiento a esta concentración. Por otra parte, a concentraciones de 1 µg/L y 5 µg/L, la biomasa aérea muestra un aumento relativo del 13,37% y 19,64%, respectivamente, en comparación con el control. Este patrón sugiere que el uso de mayores concentraciones de CIP podría tener aplicaciones prácticas para aumentar el rendimiento de los cultivos hidropónicos en condiciones controladas. Además, es evidente una respuesta hortícola, ya que las dosis crecientes de CIP no inhibieron el desarrollo, sino que estimularon el

crecimiento de la biomasa aérea, posiblemente como mecanismo de compensación fisiológica en respuesta a un estrés químico leve.

3.7 Peso de la biomasa aérea en la aplicación foliar

Los resultados sobre el peso de la biomasa aérea fresca de la lechuga se presentan en la **Tabla 11, y Figura 21.**

3.7.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, no incrementa significativamente su biomasa aérea.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, incrementa significativamente su biomasa aérea.

3.7.2 Estadístico de prueba

Tabla 11

ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación foliar de Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	p-valor	Sig.
Tratamientos	2	0.04935	0.024675	142.5	1.54e-07	***
Error exp.	9	0.00156	0.000173			
Total	11	0.05091				

Nota. No hay diferencia significativa (p>0.05)

* : Significativo (0.01 < p < 0.05) o significativo al 5%

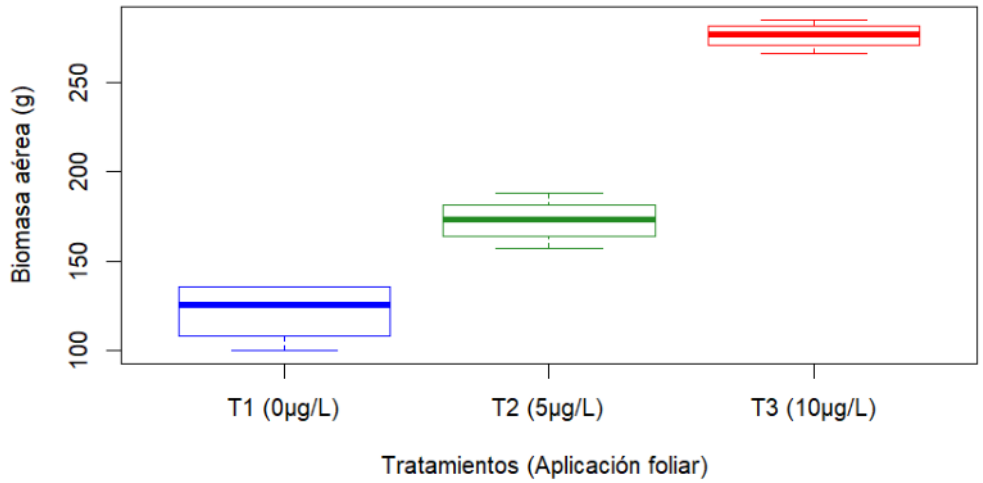
*** : Altamente significativo (p <0.01) o significativo al 1%

3.7.3 Contrastación

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p < 0.001 lo cual es menor al nivel significancia; se contrasta que se acepta la hipótesis alterna. Por el contrario, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que, a través de la aplicación foliar de Ciprofloxacino en la lechuga hidropónica, se obtuvo una diferencia altamente significativa a un 99%, se concluye que la presencia de Ciprofloxacino en el agua de riego origina un efecto en la biomasa aérea de la planta.

Figura 21

Gráfico de la biomasa aérea de la planta en la aplicación foliar



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Tabla 12

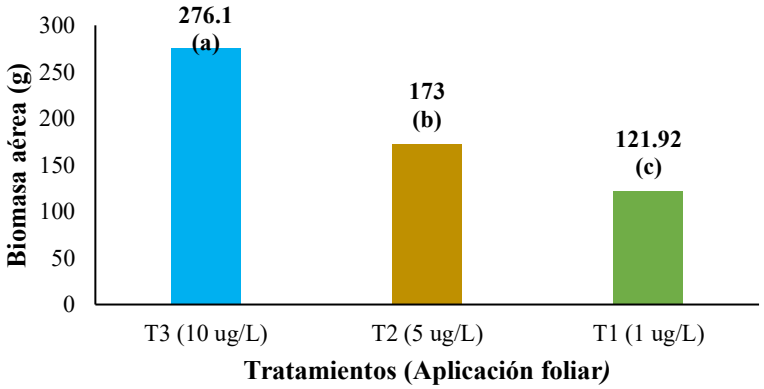
Prueba de Duncan para la biomasa aérea en la aplicación foliar

N° de orden	Tratamientos	$\bar{X}$	Significación (0.05)	Merito
1	T3 (10 ug/L)	276.1	a	1°
2	T2 (5 ug/L)	173	b	2°
3	T1 (1 ug/L)	121.92	c	3°

$\bar{X}$: Representa el promedio. La biomasa aérea se expresa en gramos.

Figura 22

Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación foliar de CIP sobre la biomasa aérea de la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.7.4 Interpretación

Los resultados obtenidos muestran un efecto diferencial del CIP aplicado foliarmente sobre la biomasa aérea de las plantas de lechuga cultivadas en sistema hidropónico. A una dosis de 10 µg/L generó un incremento significativo de la biomasa aérea en comparación con el control, alcanzando un valor promedio de 0.2761 kg, lo que representa un aumento del 126.47% respecto al control. Este resultado sugiere que a una concentración moderada, el CIP podría estar actuando como un agente estimulante, posiblemente al modificar de forma temporal la microbiota foliar o al inducir respuestas hormonales en la planta. Sin embargo, el tratamiento con 5 µg/L generó una biomasa aérea de 0.1729 kg, mostrando un incremento del 41.9% en comparación con T1. Estos hallazgos sugieren que, en lugar de un efecto fitotóxico, el CIP podría estar generando un efecto hormético en la planta, es decir, una respuesta estimulante a dosis bajas o moderadas, alcanzando su mayor efecto positivo en la concentración más alta evaluada.

3.7.5 Discusión

En este estudio, se evidencia que a una concentracion de 10 µg/L aplicado foliar y radicularmente, la biomasa aerea muestra un aumento relativo del 126.47% y 30.87%, respectivamente, lo que sugiere que a estas concentraciones se estimulo la biosintesis de compuestos del metabolismo secundario como flavonoides, fenoles y fitoalexinas, que juegan roles cruciales en la modulación del crecimiento, defensa y señalización intercelular (Apel & Hirt, 2004). Diversos estudios han demostrado que estos compuestos secundarios son inducidos por especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales actúan como segundos mensajeros en la transducción de señales. En particular, ROS como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el superóxido ($O_2^{\cdot -}$) y el oxígeno singlete ($^1O_2$) están estrechamente implicados en la señalización intracelular que regula el crecimiento y desarrollo de las plantas (Martin et al., 2022a). La generación controlada de ROS puede activar cascadas de señalización redox que resultan en la oxidación reversible de factores de transcripción y enzimas, promoviendo así la expansión celular y la formación de órganos vegetativos, como las hojas (Foyer & Noctor, 2025). Estudios recientes han evidenciado que ciertas enzimas específicas, bajo regulación genética y hormonal, son responsables de la producción y eliminación de ROS durante procesos de desarrollo o en respuesta a señales externas. Estas enzimas forman parte de una red finamente regulada que determina la

dinámica redox de la célula vegetal, permitiendo una respuesta adaptativa eficiente (Martin et al., 2022b).

La aplicación de Ciprofloxacino CIP a una concentración de 10 µg/L favoreció significativamente el incremento de la biomasa aérea en *Lactuca sativa*, lo cual sugiere una respuesta adaptativa inducida por un estrés químico leve. Este efecto puede atribuirse a un mecanismo fisiológico de defensa activado en presencia del antibiótico, específicamente asociado al estrés oxidativo inducido por la exposición a compuestos farmacéuticos**.** Diversos estudios han demostrado que concentraciones subletales de agentes estresantes, como los antibióticos, pueden generar una producción moderada de especies reactivas de oxígeno (ROS), que no alcanzan niveles citotóxicos, pero que actúan como señales moleculares clave en la activación de rutas de crecimiento y adaptación en las plantas (Mittler, 2017). En este contexto, Choudhury et al. (2017) sostienen que la acumulacion controlada de ROS desencadena la transcripción de genes involucrados en procesos de crecimiento y regeneración celular, lo que podría explicar el aumento observado en la biomasa aérea. Asimismo, el estrés oxidativo moderado puede activar respuestas antioxidantes endógenas como mecanismo de defensa. En línea con esto, Gechev et al. (2006) señalan que las plantas responden a niveles bajos de estrés oxidativo incrementando la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasa (POD) las cuales restablecen el equilibrio redox celular y optimizan la eficiencia metabólica, favoreciendo así el desarrollo vegetal. Además, Gechev et al. (2006) destacan que este tipo de estrés también puede inducir la estimulación del metabolismo secundario, promoviendo la biosíntesis de fitoalexinas, flavonoides y otros compuestos fenólicos. Estos metabolitos no solo cumplen funciones defensivas, sino que también están implicados en la regulación del crecimiento y la diferenciación celular.

3.8 Contenido de polifenoles totales en la aplicación radicular

Los resultados sobre el contenido polifenoles totales de la lechuga se presentan en la **Tabla 13, y Figura 23.**

3.8.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, no incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

3.8.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor **Tabla 13,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 13

ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales de la planta

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	p-valor	Significación
Tratamientos	3	0.09438	0.031459	21.46	0.00000	***
Error exp.	16	0.02345	0.001466		746	
Total	19	0.11783				

Nota. No hay diferencia significativa (p>0.05)

* : Significativo (0.01 < p < 0.05) o significativo al 5%

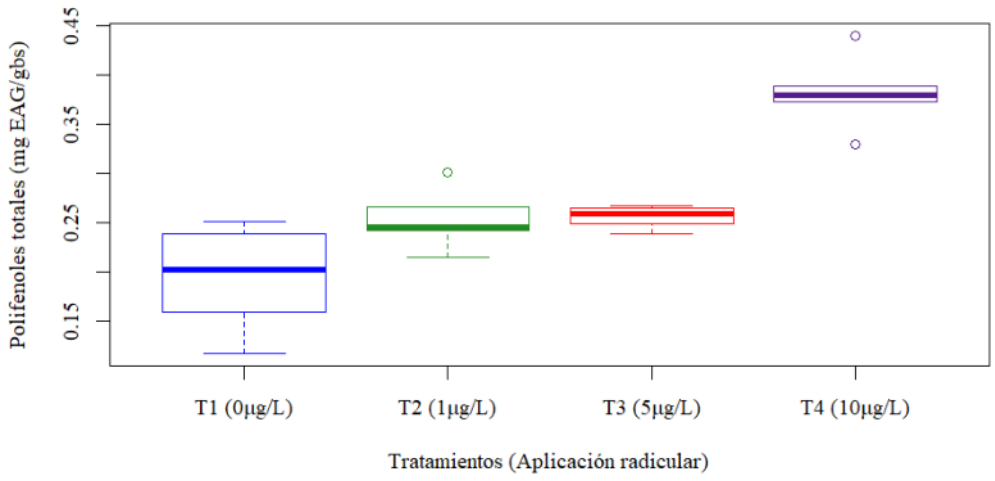
*** : Altamente significativo (p <0.01) o significativo al 1%

3.8.3 Contrastación

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p-valor de p < 0.001, lo cual es menor al nivel significancia; se contrasta que se acepta la hipótesis alterna. Por el contrario, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que, a través de la aplicación radicular de Ciprofloxacino en la lechuga hidropónica, se obtuvo una diferencia altamente significativa a un 99%, se concluye que la presencia de Ciprofloxacino en el agua de riego origina un efecto en el contenido de polifenoles en la planta.

Figura 23

Gráfico del contenido de polifenoles en la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

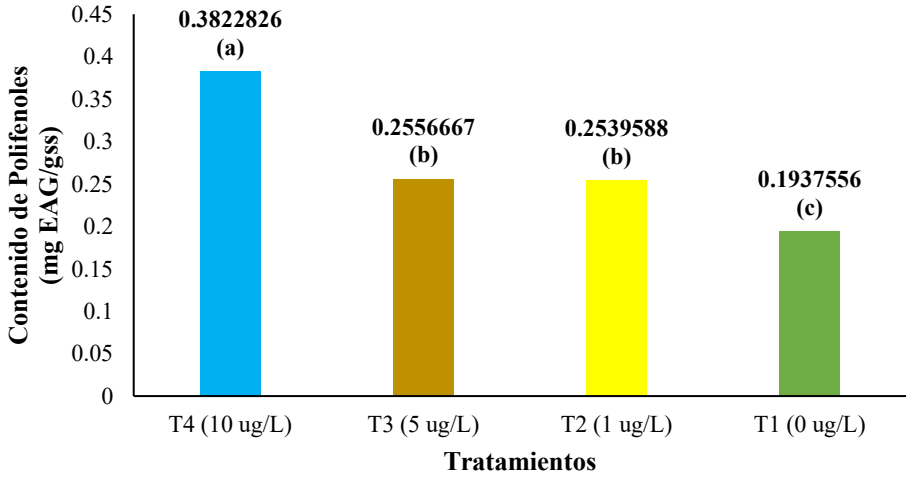
Tabla 14

Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T4 (10 ug/L)	0.3822826	a	1°
2	T3 (5 ug/L)	0.2556667	b	2°
3	T2 (1 ug/L)	0.2539588	b	2°
4	T1 (0 ug/L)	0.1937556	c	3°

Figura 24

Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles de la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.8.4 Interpretación

En el presente estudio se observó un efecto significativo del Ciprofloxacino (CIP) sobre el contenido de polifenoles totales en lechuga hidropónica. A una concentración de 10 µg/L, se registró el mayor contenido de polifenoles, alcanzando 0,382 mg EAG/g de peso fresco, lo que representa un incremento del 97.30 % en comparación con el tratamiento control. Asimismo, se detectaron aumentos del 30,93 % y 31,96 % a concentraciones menores de 1 µg/L y 5 µg/L, respectivamente. Estos resultados sugieren

que la exposición al CIP activa respuestas bioquímicas asociadas al estrés oxidativo, especialmente a concentraciones elevadas.

3.9 Contenido de polifenoles totales en la aplicacion foliar

Los resultados sobre el contenido polifenoles totales de la lechuga se presentan en la **Tabla 15, y Figura 25.**

3.9.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, no incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

3.9.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es la prueba de Shapiro Wilk **Tabla 15,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 15

Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Polifenoles totales (mg EAG/gbs)	Shapiro Wilk	0.70902	0.001031

Nota. mg EAG: miligramos equivalentes de Acido Gálico gbs: gramos en base seca.

*No tiene distribución normal si ($p<0.05$)

3.9.3 Contrastación

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para evaluar si los datos de contenido de polifenoles seguían una distribución normal. Se obtuvo un estadístico $p<0.05$, el cual es menor al umbral de significancia de 0.05. Esto indica que los datos no presentan una distribución normal. Por ello, se optó por una prueba estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es apropiada para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad **Tabla 16.**

Tabla 16

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	10.021

Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.006666
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 17

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles

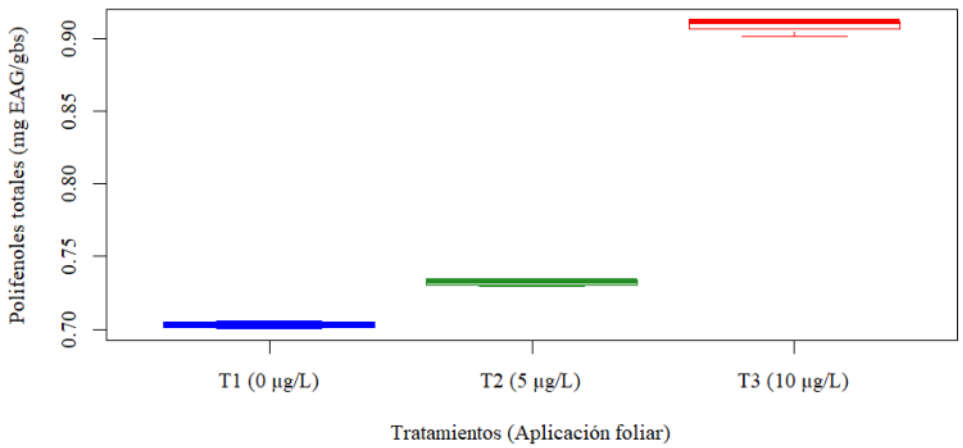
Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo (p ≤ 0.025)
T2 vs T1	-1.582825	0.1702	No
T3 vs T1	-3.165651	0.0023	**Si**
T3 vs T2	-1.582825	0.1702	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Los resultados estadísticos respaldan que a una 10 µg/L de Ciprofloxacino provoca un aumento significativo en el contenido de polifenoles en lechuga en comparación con el control. Esto confirma que, a dosis elevadas, el CIP actúa como un estresor suficientemente potente para activar mecanismos antioxidantes basados en la producción de polifenoles, en concordancia con el análisis fisiológico y bioquímico discutido anteriormente.

Figura 25

Gráfico del contenido de polifenoles de la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.9.4 Interpretación

A una dosis de 5 µg/L se alcanzó un promedio de 0.732 mg EAG/gbs, lo que representa un incremento del 4.13% respecto al control. Por su parte, el tratamiento con la mayor concentración de 10 µg/L mostró un valor de 0.909 mg EAG/gbs, evidenciando un aumento del 29.3% en comparación con T1 y del 24.2% en relación con T2. Estos resultados sugieren que el Ciprofloxacino podría estar induciendo una respuesta fisiológica en las plantas, posiblemente a través de un mecanismo de estrés moderado que estimula la biosíntesis de compuestos fenólicos como defensa frente a agentes externos.

3.9.5 Discusión

Este notable aumento de polifenoles en respuesta al CIP puede atribuirse a la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), fenómeno ampliamente reportado en plantas bajo exposición a contaminantes como antibióticos (Stiller et al., 2021; Lung et al., 2025). Las ROS son moléculas altamente reactivas que, al acumularse en exceso, pueden dañar componentes celulares esenciales como lípidos, proteínas y ADN, además de inducir procesos como la muerte celular programada (Sharma et al., 2012). Ante este escenario, las plantas activan mecanismos de defensa antioxidante, dentro de los cuales los polifenoles cumplen un papel crucial como neutralizadores de ROS gracias a su elevada capacidad reductora (Korkina et al., 2008; Šamec et al., 2021).

La producción de polifenoles se realiza a través de la ruta del ácido shikímico, que convierte aminoácidos como fenilalanina y triptófano en ácidos fenólicos y otros compuestos secundarios antioxidantes (Kumar & Goel, 2019). En este sentido, se ha demostrado que no solo factores bióticos como patógenos o la radiación UV, sino también contaminantes como antibióticos, pueden inducir la activación de esta vía metabólica al generar estrés oxidativo en las células vegetales (Ramos et al., 2023). Los datos obtenidos indican una relación dosis-dependiente: a concentraciones bajas de CIP (1 y 5 µg/L), se observan incrementos leves en el contenido de polifenoles, posiblemente porque el estrés oxidativo inducido aún es manejable por los sistemas de defensa constitutivos de la planta. Sin embargo, a una dosis más alta (10 µg/L), la intensidad del estrés supera los umbrales fisiológicos, provocando una respuesta más intensa y sostenida, que se traduce en una mayor síntesis de polifenoles como mecanismo de protección (Lung et al., 2025).

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que documentan respuestas similares en otras especies vegetales. Por ejemplo, Ramos et al. (2023) reportaron que los granos de quinua expuestos a CIP presentaron un incremento en la producción de ROS y, en consecuencia, una activación de la ruta del ácido shikímico para la producción de

polifenoles. Asimismo, investigaciones en lechuga han demostrado que otros tipos de estrés, como la salinidad, también estimulan la acumulación de compuestos fenólicos y antioxidantes, reforzando la hipótesis de que la biosíntesis de polifenoles es un mecanismo generalizado de adaptación vegetal al estrés (Senizza et al., 2020; Corrado et al., 2021). Los resultados del presente estudio refuerzan el papel central de los polifenoles en la respuesta adaptativa de la lechuga frente a la exposición a contaminantes ambientales como el Ciprofloxacino. Demuestran que estos compuestos son altamente sensibles y esenciales dentro de la respuesta celular al estrés, ya que actúan como agentes protectores clave frente al daño oxidativo generado por las especies reactivas de oxígeno (Šamec et al., 2021).

3.10 Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación radicular

Los resultados sobre la capacidad antioxidante de los polifenoles en la lechuga se presentan en la **Tabla 18, y Figura 26.**

3.10.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, no incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

3.10.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es la prueba de Shapiro Wilk **Tabla 18,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 18

Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por ORAC

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante ORAC (µmol ET/gbs)	Shapiro Wilk	0.85862	0.00746

Nota. ORAC: Capacidad de Absorción de Radicales Oxigeno; ET: Equivalente trolox; gbs: gramos en base seca.

*No tiene distribución normal si ($p<0.05$)

3.10.3 Contrastación

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para evaluar si los datos de capacidad antioxidante seguían una distribución normal. El resultado arrojó un estadístico

$p<0.05$, el cual es menor al umbral de significancia de 0.05. Esto indica que los datos no presentan una distribución normal, por lo que se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Sin embargo, se optó por una prueba estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es apropiada para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad. Esta prueba permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados **Tabla 19.**

Tabla 19

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	**Valor**
Chi-cuadrado	18.1298
Grados de libertad (gl)	3
p-valor	0.0004136
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 20

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por ORAC

Comparación	**Estadístico**	**p-valor**	**Significativo ($p \leq 0.025$)**
T2 vs T1	-0.962140	1.0000	No
T3 vs T1	-2.405351	0.0485	No
T3 vs T2	- 1.443210	0.4469	No
T4 vs T1	- 3.795109	0.0004	**Si**
T4 vs T2	-2.832969	0.0138	**Sí**
T4 vs T3	-1.389758	0.4938	No

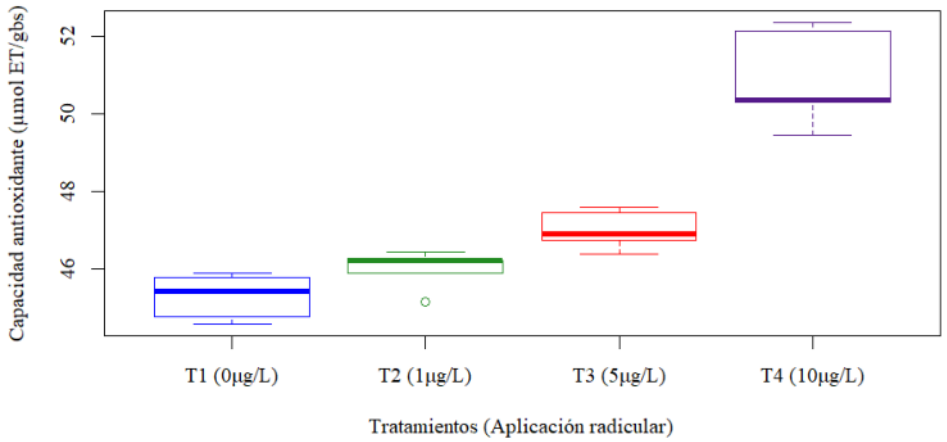
Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Los resultados estadísticos respaldan que la exposición a 10 µg/L de Ciprofloxacino provoca un aumento significativo en el contenido de polifenoles en lechuga en comparación con concentraciones menores y el control. Esto confirma que, a dosis elevadas, el CIP actúa como un estresor suficientemente potente para activar mecanismos

antioxidantes basados en la producción de polifenoles, en concordancia con el análisis fisiológico y bioquímico discutido anteriormente.

Figura 26

Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles en la planta por el método ORAC



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.10.4 Interpretación

En la evaluación de la capacidad antioxidante de los polifenoles se observó un incremento progresivo conforme aumentó la concentración de Ciprofloxacino, el tratamiento control presentó un valor de 45.299 µmol ET/gbs. A una concentración de 1 µg/L, la capacidad antioxidante aumentó a 45.992 µmol ET/gbs, lo que representa un incremento del 1.53 % respecto al control. Asimismo, a 5 µg/L, el valor se elevó a 47.023 µmol ET/gbs, equivalente a un aumento del 3.81 %. Finalmente, a una dosis de 10 µg/L alcanzó 50.906 µmol ET/gbs, lo que corresponde a un incremento del 12.38 % en comparación con el tratamiento control. Estos resultados sugieren que la exposición a concentraciones crecientes de Ciprofloxacino induce una respuesta antioxidante más intensa, evidenciada en la mayor capacidad de neutralización de radicales libres, atribuida a la acumulación de compuestos polifenólicos como mecanismo de defensa frente al estrés oxidativo inducido por el antibiótico.

3.11 Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar

Los resultados sobre la capacidad antioxidante de la lechuga se presentan en la **Tabla 21, y Figura 27.**

3.11.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, no incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

3.11.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor **Tabla 21,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 21

ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles totales

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	p-valor	Significación
Tratamientos	2	421.3	210.67	22.08	0.00033	***
Error exp.	9	85.9	9.54		8	
Total	11	507.2				

Nota. No hay diferencia significativa ($p>0.05$)

* : Significativo ($0.01 < p < 0.05$) o significativo al 5%

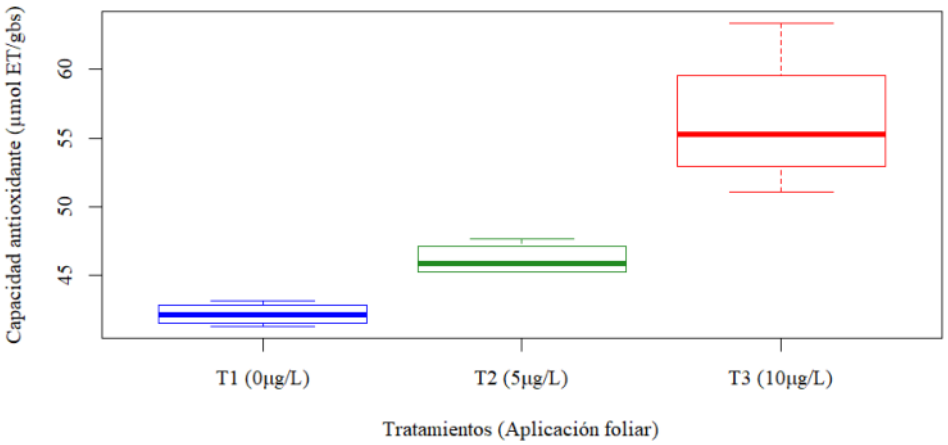
*** : Altamente significativo ($p <0.01$) o significativo al 1%

3.11.3 Contrastación

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA muestran un valor de p-valor de $p < 0.001$, lo cual es menor al nivel significancia; se contrasta que se acepta la hipótesis alterna. Por el contrario, se rechaza la hipótesis nula, es decir, que, a través de la aplicación foliar de Ciprofloxacino en la lechuga hidropónica, se obtuvo una diferencia altamente significativa a un 99%, se concluye que la presencia de Ciprofloxacino en el agua de riego origina un efecto en la capacidad antioxidante.

Figura 27

Gráfico de la capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

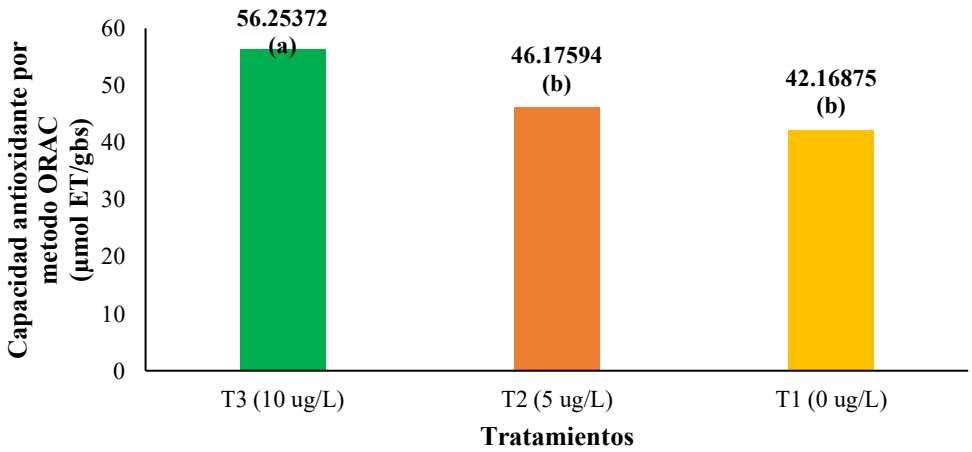
Tabla 22

Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T3 (10 ug/L)	56.25372	a	1°
2	T2 (5 ug/L)	46.17594	b	2°
3	T1 (0 ug/L)	42.16875	b	2°

Figura 28

Prueba de Duncan (α=0.05) para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles de la planta



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.11.4 Interpretación

El tratamiento control presentó un valor de 42.17 µmol ET/gbs, mientras que el tratamiento con 5 µg/L aumentó a 46.18 µmol ET/gbs, lo que representa un incremento del 9.5% respecto al control. El mayor efecto se observó en el tratamiento con 10 µg/L, donde se alcanzó un valor de 56.25 µmol ET/gbs, evidenciando un incremento del 33.4% con respecto al control y del 21.8% en comparación con T2. Esta tendencia ascendente sugiere que el Ciprofloxacino, en concentraciones crecientes, podría estar actuando como un agente de estrés moderado que estimula la activación de mecanismos antioxidantes en la planta, posiblemente a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen la producción de metabolitos antioxidantes no enzimáticos.

3.11.5 Discusión

El incremento a partir de la aplicación foliar y radicular a una dosis de 10 µg/L se debe a que a esta dosis se tuvo la capacidad de neutralizar radicales piróxilos debido a que este tratamiento tiene antioxidantes versátiles capaces de actuar frente a distintos tipos de radicales. Según lo reportado por Ramos et al. (2023), en su estudio con quinua variedad Pasankalla, la aplicación de 10 µg/L de Ciprofloxacino generó un aumento del 52 % en el contenido de polifenoles totales y del 59 % en la capacidad antioxidante, en comparación con el control. Esto se debe a una activación de la ruta fenilpropanoide, que conduce a la acumulación de compuestos fenólicos como el ácido vanílico, proantocianidinas A2 y B2, los cuales poseen una alta capacidad para actuar frente a radicales libres de diversa naturaleza (Zhao et al., 2024). Este mecanismo puede extrapolarse al caso de la lechuga, donde el aumento progresivo de la concentración de Ciprofloxacino genera un estrés oxidativo creciente, que es compensado por una mayor producción de antioxidantes fenólicos (Du et al., 2023), especialmente a dosis más altas como la de 10 µg/L.

El aumento progresivo de la capacidad antioxidante observado en lechuga expuesta a concentraciones crecientes de Ciprofloxacino podría explicarse, en parte, por su interferencia en los procesos fotosintéticos. Según Aristilde et al. (2010), el CIP presenta similitudes estructurales con las quinonas, particularmente por la presencia del anillo de quinolona y el grupo amino secundario, lo que le permite actuar como un inhibidor competitivo del sitio de unión de quinona en el fotosistema II (PSII). Esta interferencia compromete la cadena de transporte de electrones (CTE) en los cloroplastos, generando un bloqueo parcial o total de la transferencia electrónica normal (Gomes et al., 2017). Como

consecuencia, se retrasa la cinética de fotorreducción del aceptor primario de quinona, y con ello, una acumulación anómala de electrones que favorece la formación de radicales libres altamente reactivos, como el superóxido ($O_2^{-}\bullet$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), elevando el nivel de especies reactivas de oxígeno (ROS) en las células vegetales (Lung et al., 2025). Esta disrupción del proceso fotosintético constituye una fuente significativa de estrés oxidativo, que activa mecanismos de defensa en la planta, entre ellos la síntesis de compuestos antioxidantes.

3.12 Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación radicular

Los resultados sobre la capacidad antioxidante de los polifenoles en la lechuga se presentan en la **Tabla 23, y Figura 29.**

3.12.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, no incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

3.12.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es la prueba de Shapiro Wilk **Tabla 23,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 23

Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por DPPH

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante DPPH ($IC_{50} mg/mL$)	Shapiro Wilk	0.72315	0.00007572

Nota. La $IC_{50} mg/mL$) se expresó en mg de muestra para inhibir el 50 % de la solución de radicales DPPH (ml); DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, técnica colorimétrica ampliamente utilizada para evaluar la capacidad antioxidante.

*No tiene distribución normal si ($p<0.05$)

3.12.3 Contrastación

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para evaluar si los datos de capacidad antioxidante seguían una distribución normal. El resultado arrojó un valor de $p<0.05$, el cual es menor al umbral de significancia de 0.05. Esto indica que los datos no presentan

una distribución normal, por lo que se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Sin embargo, se optó por una prueba estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es apropiada para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad. Esta prueba permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados **Tabla 24.**

Tabla 24

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	**Valor**
Chi-cuadrado	13.537
Grados de libertad (gl)	3
p-valor	0.003608
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 25

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH

Comparación	**Estadístico**	**p-valor**	**Significativo ($p \leq 0.025$)**
T2 vs T1	2.298446	0.0646	No
T3 vs T1	2.084637	0.1113	No
T3 vs T2	3.634752	0.0008	**Sí**
T4 vs T1	-0.213808	1.0000	No
T4 vs T2	1.336306	0.5443	No
T4 vs T3	1.550115	0.3633	No

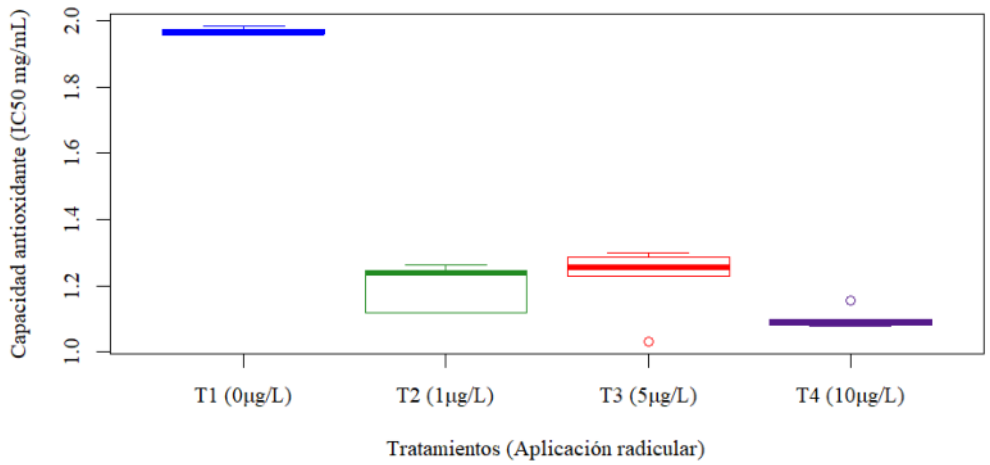
Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Los resultados estadísticos respaldan que la única comparación significativa fue T3 vs T1, con un valor $p<0.05$, indicando una reducción estadísticamente significativa de la capacidad antioxidante en plantas tratadas con 5 µg/L de Ciprofloxacino, respecto al control. Las demás comparaciones no presentaron diferencias significativas ($p > 0.025$), lo

que sugiere que las variaciones observadas podrían deberse a la variabilidad experimental o a un efecto menos marcado del CIP en esas concentraciones.

Figura 29

Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles por DPPH



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

* La $IC_{50} mg/mL$) se expresó en mg de muestra para inhibir el 50 % de la solución de radicales DPPH (ml); DPPH: (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

3.12.4 Interpretación

En la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH, el tratamiento control presentó un valor de 1.968 IC_{50} mg/mL. A una concentración de 1 µg/L, el valor descendió a 1.197 IC_{50} mg/mL, lo que representa una reducción del 39.18 % respecto al control. De manera similar, a 5 µg/L se registró 1.220 IC_{50} mg/mL, equivalente a una disminución del 38.01 %, mientras que a 10 µg/L se alcanzó 1.100 IC_{50} mg/mL, evidenciando la mayor reducción, con 44.11 % respecto al control. Estos resultados indican que la exposición creciente a Ciprofloxacino mejora la capacidad antioxidante de la lechuga, reflejada en menores valores de IC_{50}, lo que sugiere un efecto de estímulo moderado atribuido a la acumulación de polifenoles como defensa frente al estrés oxidativo inducido por el antibiótico.

3.13 Capacidad antioxidante por método DPPH en la aplicación foliar

Los resultados sobre la capacidad antioxidante de los polifenoles en la lechuga se presentan en la **Tabla 28, y Figura 30.**

3.13.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, no incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, incrementa significativamente la capacidad antioxidante de polifenoles totales.

3.13.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es la prueba de Shapiro Wilk **Tabla 26,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 26

Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en la capacidad antioxidante por DPPH

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante DPPH ($IC_{50} mg/mL$)	Shapiro Wilk	0.85494	0.04227

Nota. La $IC_{50} mg/mL$) se expresó en mg de muestra para inhibir el 50 % de la solución de radicales DPPH (ml); DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, técnica colorimétrica ampliamente utilizada para evaluar la capacidad antioxidante.

*No tiene distribución normal si ($p<0.05$)

3.13.3 Contrastación

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para evaluar si los datos de capacidad antioxidante seguían una distribución normal. El resultado arrojó un estadístico $p<0.05$, el cual es menor al umbral de significancia esto indica que los datos no presentan una distribución normal. Por ello, se optó por una prueba estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, la cual es apropiada para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad.

Tabla 27

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	7.3846
Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.02491
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 28

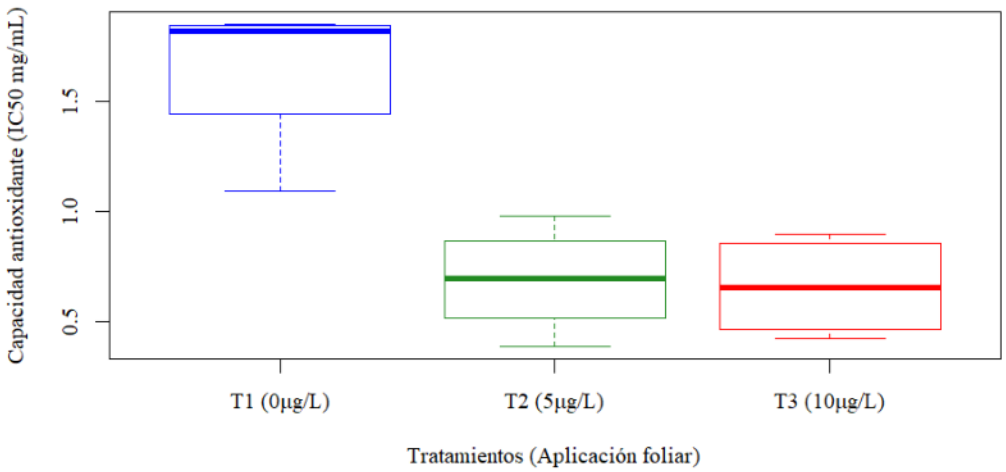
Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo ($p \leq 0.025$)
T2 vs T1	2.353393	0.0279	**Si**
T3 vs T1	2.353393	0.0279	**Si**
T3 vs T2	0.000000	1.0000	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Figura 30

Gráfico de la capacidad antioxidante de los polifenoles por DPPH



Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

* La $IC_{50} mg/mL$) se expresó en mg de muestra para inhibir el 50 % de la solución de radicales DPPH (ml); DPPH: (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

3.13.4 Interpretación

El tratamiento control presentó un valor de 1.644 $IC_{50} mg/mL$, mientras que el tratamiento con 5 µg/L mostró una reducción a 0.691 $IC_{50} mg/mL$, lo que equivale a una disminución del 57.9%. Por su parte, el tratamiento con 10 µg/L (T3) descendió a 0.658 $IC_{50} mg/mL$, representando una reducción del 60.0% respecto al control. Esta tendencia sugiere que el Ciprofloxacino podría estar afectando negativamente la síntesis o acumulación de ciertos compuestos antioxidantes específicos. Sin embargo, es importante considerar que el método DPPH tiene limitaciones inherentes que influyen en la interpretación de estos resultados. DPPH mide principalmente la capacidad de donar electrones o átomos de hidrógeno de compuestos antioxidantes de bajo peso molecular, como ciertos polifenoles simples.

3.13.5 Discusión

La capacidad antioxidante determinada mediante el método DPPH mostró una disminución significativa en comparación con el control. Este resultado puede atribuirse a una alteración en el perfil cualitativo de polifenoles, en lugar de una simple reducción cuantitativa. Según Lung et al. (2025) demostraron que, si bien algunas plantas aumentan la síntesis total de compuestos fenólicos bajo estrés por antibióticos, como el CIP, la eficacia para neutralizar radicales libres como DPPH puede reducirse debido a la menor proporción de polifenoles con alta capacidad antioxidante. Esto sugiere una adaptación metabólica en la que la planta prioriza la síntesis de compuestos fenólicos estructurales o protectores frente al estrés químico, pero menos reactivos ante radicales sintéticos como el DPPH (Lung et al., 2025; Aristilde et al., 2010). Además, Aristilde et al. (2010) señalan que el CIP puede inhibir el fotosistema II interfiriendo con la cadena de transporte de electrones, lo cual genera un exceso de (ROS), alterando el metabolismo antioxidante de la planta. Estudios similares en lavanda y otras especies confirman que el estrés abiótico puede inducir un cambio en la composición de metabolitos secundarios sin mejorar necesariamente su actividad antioxidante en ensayos in vitro (Kumar & Goel, 2019). Incluso se ha observado que, en ciertos contextos, los polifenoles sintetizados como defensa pueden ser más efectivos frente a ROS intracelulares que frente a radicales como DPPH, utilizados en pruebas químicas (Stiller et al., 2021).

3.14 Residuos de CIP en la aplicación radicular en tejido vegetal

Los resultados sobre el residuo de Ciprofloxacino en la lechuga se presentan en la **Tabla 30, y Figura 31.**

3.14.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, no incrementa significativamente su biomasa aérea.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado radicularmente, incrementa significativamente su biomasa aérea.

Tabla 29

Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta

Estadístico	**Valor**
Chi-cuadrado	18.1298
Grados de libertad (gl)	3
p-valor	0.0004136
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 30

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal

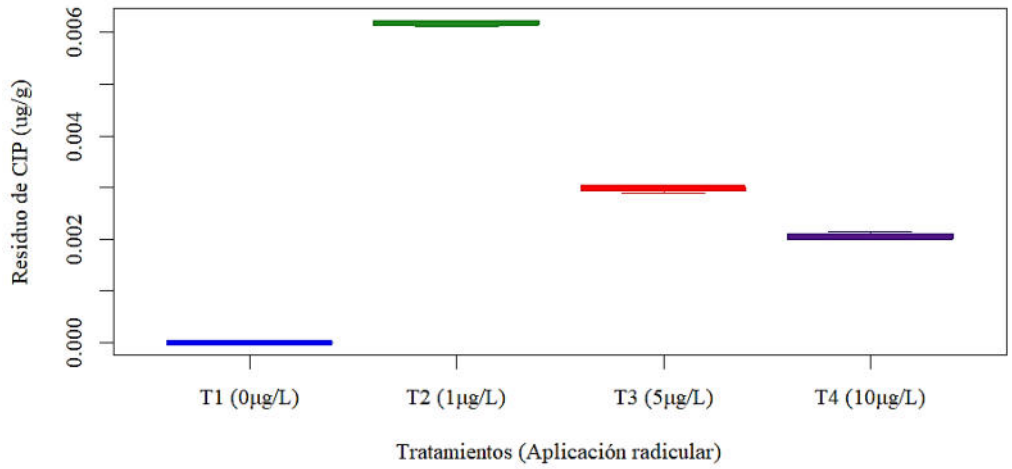
Comparación	**Estadístico**	**p-valor**	**Significativo (p ≤ 0.025)**
T2 vs T1	-4.039405	0.0002	**Sí**
T3 vs T1	-2.692936	0.0212	**Sí**
T4 vs T1	-1.346468	0.5345	No
T3 vs T2	1.346468	0.5345	No
T4 vs T2	2.692936	0.0212	**Sí**
T4 vs T3	1.346468	0.5345	No

Nota. No hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados ($p \leq 0.025$)

* T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Figura 31

Gráfico de residuo de CIP en tejido vegetal en la aplicación radicular



3.14.2 Interpretación

A una dosis de CIP de 1 µg/L, se observó el mayor nivel de acumulación, con 0,0062 µg/g, mientras que concentraciones superiores de 5 µg/L y 10 µg/L mostraron residuos más bajos, de 0,0030 µg/g y 0,0021 µg/g, respectivamente. Esta respuesta sugiere que la acumulación del antibiótico en los tejidos comestibles de la planta no sigue una relación directa dosis-dependiente, lo que podría explicarse por diferentes mecanismos fisiológicos. Esto podría estar relacionado con una menor presión osmótica en el medio, facilitando el movimiento pasivo de solutos como el CIP. Además, a estas concentraciones, el compuesto no supone una amenaza significativa para el metabolismo de la planta, por lo que no se activan mecanismos de defensa o barreras fisiológicas que limiten su transporte o acumulación. Sin embargo, a concentraciones más elevadas, de 5 µg/L y 10 µg/L, se detectaron residuos más bajos, lo que sugiere que la acumulación no es simplemente proporcional a la dosis. A estos niveles elevados, el CIP podría afectar a la integridad funcional de las raíces o a la eficiencia del transporte xilemático, reduciendo la capacidad de movilizar compuestos a las partes aéreas. Estos efectos podrían deberse a alteraciones en la arquitectura de las raíces o a interferencias en el equilibrio hídrico y la presión de turgencia, que repercutirían indirectamente en la acumulación de compuestos.

3.15 Residuos de CIP en la aplicación foliar en tejido vegetal

Los resultados sobre la capacidad antioxidante de la lechuga se presentan en la **Tabla 32, y Figura 32.**

3.15.1 Formulación de la hipótesis

H_0: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, no incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

H_a: El uso de Ciprofloxacino en el cultivo de lechuga hidropónica, aplicado foliarmente, incrementa significativamente el contenido de polifenoles totales.

3.15.2 Estadístico de prueba

El Estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor **Tabla 31,** cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 31

Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta

Estadístico	**Valor**
Chi-cuadrado	8.2899
Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.02
Nivel de significancia (α)	0.05

Tabla 32

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal

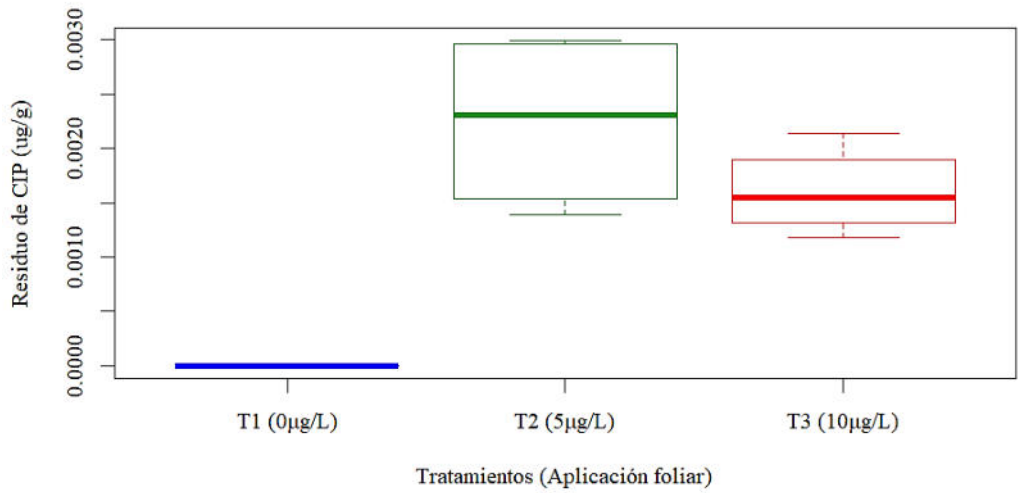
Comparación	**Estadístico**	**p-valor**	**Significativo (p ≤ 0.025)**
T2 vs T1	-2.794922	0.0078	**Sí**
T3 vs T1	-1.996373	0.0688	No
T3 vs T2	0.798549	0.6368	No

Nota. No hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados (p ≤ 0.025)

* T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Figura 32

Residuo de CIP en tejido vegetal en la aplicación foliar



3.15.3 Interpretación

El tratamiento con 5 µg/L presentó el mayor contenido de residuos, alcanzando 0.00225 µg/g en la aplicación foliar, lo que representa un 100% más que el tratamiento control y un 40.4% más que la dosis de 10 µg/L, que presentó 0.00160 µg/g. Este patrón descendente en los residuos a mayor concentración podría deberse a varios factores fisiológicos o bioquímicos. Una posibilidad es que la exposición a una dosis más alta de CIP haya activado mecanismos de defensa que limiten su absorción o promuevan una degradación más eficiente del compuesto dentro del tejido vegetal.

3.15.4 Discusión

La acumulación no proporcional de Ciprofloxacino (CIP) en los tejidos de lechuga observada en este estudio puede explicarse por diversos mecanismos fisiológicos, de transporte y transformación intracelular. Este comportamiento inverso ha sido reportado también en estudios recientes que demuestran que las plantas, incluyendo cultivos importantes como lechuga, soja y maíz, pueden absorber antimicrobianos, lo que conlleva a su bioacumulación. La acumulación de antimicrobianos en vegetales hidropónicos es más significativa, debido a la mayor biodisponibilidad del antibiótico en la solución nutritiva. Un factor clave que influye en la absorción del CIP es su especiación química, la cual está condicionada por el pH del medio. En arroz, por ejemplo, se ha reportado que el CIP en estado catiónico favorece la acumulación, aunque no necesariamente en proporción directa a la dosis aplicada (Hu et al., 2021). En general, las plantas absorben con mayor facilidad fármacos en su forma neutra, mientras que las especies aniónicas tienden a ser

repelidas por las membranas celulares, y las especies catiónicas, aunque atraídas, suelen quedar retenidas o restringidas en su movimiento hacia los tejidos (Goldstein et al., 2014). Asimismo, el pH intracelular varía según los compartimentos de la célula vegetal, por ejemplo, 5.5 en el apoplasto, 7.2 en el citosol y 5.5 en las vacuolas, lo que puede inducir cambios en la forma química del antibiótico dentro de la planta (Wu et al., 2015).

Según (Miller et al., 2016), un compuesto puede entrar en su forma neutra, pero una vez dentro de compartimentos ácidos como las vacuolas, se protona y queda retenido al no poder atravesar nuevamente la bicapa lipídica, limitando así su redistribución. Por otro lado, la transpiración y flujo xilemático desempeñan un rol fundamental en el transporte de compuestos absorbidos y variaciones en la presión hídrica o daños en la arquitectura radicular por dosis altas de CIP pueden limitar su movilidad hacia las partes aéreas. Esto coincide con estudios en plantas acuáticas como *Eichhornia crassipes*, donde se observó la máxima absorción en raíces, pero sin un aumento proporcional en hojas a dosis crecientes (Y. Yan et al., 2019). Finalmente, a dosis elevadas, los antibióticos podrían inducir respuestas fisiológicas de defensa o activar procesos de biotransformación y compartimentalización intracelular, que reducen la acumulación en los órganos comestibles como una estrategia adaptativa para mitigar el estrés químico (Chuang et al., 2019).

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de Ciprofloxacino en lechuga cultivada en sistema hidropónico incrementa la biomasa aérea fresca en función de la dosis. La mayor respuesta se registra con 10 µg/L, con aumentos del 126,47 % con aplicación foliar y 30.87 % con aplicación radicular, en comparación con el control. A dosis de 1 y 5 µg/L generan incrementos moderados del 13,37 % y 19,64 %, respectivamente, mientras que la aplicación foliar de 5 µg/L destaca con un incremento del 41,9 %.
2. La concentración de compuestos fenólicos totales en lechuga aumenta progresivamente con la dosis de Ciprofloxacino. A 10 µg/L se alcanza el mayor incremento, con un 97.30 % en la aplicación radicular y 29,3 % en la foliar, en comparación con el control. Las dosis de 1 y 5 µg/L también elevan significativamente los niveles, con aumentos del 31.07 % y 31,95 %, respectivamente. Sin embargo, la aplicación foliar de 5 µg/L produce un incremento relativo del 4,13 %.
3. La presencia de Ciprofloxacino en el agua de riego no presenta un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante de la lechuga. No obstante, se identifica una tendencia creciente: en la aplicación radicular, los incrementos alcanzan 1,53 % (1 µg/L), 3,81 % (5 µg/L) y 12,38 % (10 µg/L); mientras que en la aplicación foliar se registran aumentos del 9,5 % y 33,4 % con 5 y 10 µg/L, respectivamente.
4. La acumulación de Ciprofloxacino en el tejido de la lechuga no presenta diferencias estadísticamente significativas entre las dosis aplicadas. No obstante, se evidencia una tendencia inversa a la concentración, en aplicación radicular, la mayor retención ocurre con 1 µg/L 0,0062 µg/g, disminuyendo a 0,0030 µg/g y 0,0021 µg/g con 5 y 10 µg/L, respectivamente. En la aplicación foliar, se repite este patrón, con 0,00225 µg/g a 5 µg/L y 0,00160 µg/g a 10 µg/L.
5. Las condiciones registradas, con una temperatura máxima promedio de 26.7 °C, una mínima de 18.3 °C y una humedad relativa de 85.2 %, favorecen el crecimiento de las plantas al mantener la apertura estomática, lo que mejora la fotosíntesis y reduce la pérdida de agua por evaporación.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda profundizar en estudios sobre el uso controlado de Ciprofloxacino u otros contaminantes emergentes con potencial hormético en sistemas hidropónicos, evaluando su efecto en el crecimiento vegetal y la síntesis de metabolitos secundarios de interés nutracéutico, como los polifenoles. Este enfoque permitiría identificar concentraciones subletales que estimulen la producción de biomasa y compuestos bioactivos, sin comprometer la calidad ni la seguridad de los cultivos.
2. Asimismo, es fundamental realizar investigaciones orientadas a caracterizar el perfil específico de los polifenoles inducidos por el Ciprofloxacino, ya que los resultados sugieren un aumento en la cantidad total, pero con posibles variaciones en su actividad antioxidante. La identificación de estas moléculas mediante técnicas analíticas avanzadas como HPLC o LC-MS permitiría comprender con mayor profundidad su funcionalidad y su valor potencial en la industria alimentaria y farmacológica.
3. En relación con la acumulación de residuos de Ciprofloxacino en los tejidos vegetales, se sugiere abordar estudios detallados sobre la dinámica de absorción, distribución y compartimentalización del antibiótico dentro de la planta. En particular, es necesario evaluar la translocación del compuesto desde las raíces hacia las hojas y otras partes comestibles, a fin de estimar con precisión el riesgo potencial para la salud humana. Esto puede lograrse mediante la aplicación de técnicas de trazabilidad molecular y análisis cuantitativo de residuos.
4. También se recomienda implementar evaluaciones de riesgo específicas para cultivos hortícolas expuestos a antibióticos, considerando variables como el tipo de sistema de cultivo (hidropónico vs. suelo), las condiciones ambientales y la fisiología del cultivo. Esta evaluación permitirá establecer umbrales seguros para la exposición a contaminantes emergentes, contribuyendo al diseño de políticas de gestión más estrictas y orientadas a la protección del consumidor y del ecosistema agrícola.
5. Finalmente, se sugiere que futuras investigaciones incluyan un enfoque multidisciplinario que integre agronomía, toxicología, química analítica y salud pública, con el fin de generar evidencia robusta sobre el impacto de residuos farmacéuticos en la calidad y seguridad de los alimentos. Este conocimiento es

crucial para garantizar una producción sostenible, segura y alineada con los estándares internacionales de inocuidad alimentaria.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alconero, R. (1988). *Biotechnology in Agricultutre and Forestry, vol 6*. 351–369. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73520-2_17

Anzola Pachón, L. C. (2013). *Fundamentos básicos de Farmacología*. Rosa Fermina García Cossio.

Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, *55*(Volume 55, 2004), 373–399. https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ARPLANT.55.031903.141701/CITE/REFWORKS

Aristilde, L., Melis, A., & Sposito, G. (2010). Inhibition of photosynthesis by a fluoroquinolone antibiotic. *Environmental Science and Technology*, *44*(4), 1444–1450. https://doi.org/10.1021/ES902665N,

Barry, A. L., Jones, R. N., Thornsberry, C., Ayers, L. W., Gerlach, E. H., & Sommers, H. M. (1984). Antibacterial activities of ciprofloxacin, norfloxacin, oxolinic acid, cinoxacin, and nalidixic acid. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *25*(5), 633–637. https://doi.org/10.1128/AAC.25.5.633

Bassu, S., Eichelsbacher, S., Giunta, F., Motzo, R., Dawid, C., Gastl, M., Schloter, M., Scherf, K. A., Hör, S., De Souza, Y. P. A., Schulz, S., Stark, T. D., Mohler, V., & Asseng, S. (2025). Positive impact of hydroponics and artificial light on yield and quality of wheat. *Scientific Reports*, *15*(1), 1–17. https://doi.org/10.1038/S41598-025-16204-0;SUBJMETA

Beratto-Ramos, A., Castillo-Felices, R. del P., Troncoso-Leon, N. A., Agurto-Muñoz, A., & Agurto-Muñoz, C. (2019). Selection criteria for high-value biomass: seasonal and morphological variation of polyphenolic content and antioxidant capacity in two brown macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, *31*(1), 653–664. https://doi.org/10.1007/S10811-018-1528-9/TABLES/5

Buenrostro-Curiel, J., Montazar, A., Avilés-Marín, S. M., Escobosa-García, M. I., Brígido-Morales, J. G., Soto-Ortiz, R., Buenrostro-Curiel, J., Montazar, A., Avilés-Marín, S. M., Escobosa-García, M. I., Brígido-Morales, J. G., & Soto-Ortiz, R. (2025). Rendimiento de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo Diferentes Láminas de Riego y Dosis de Nitrógeno en el Valle Imperial, California. *Terra Latinoamericana*, *43*, 1–10. https://doi.org/10.28940/TERRA.V43I.2056

Castell, J. V. (2018). Drug metabolism, generation of reactive metabolites and their role in the origin of immune drug reactions. *Uv.Es*, 95–123.

https://www.uv.es/jcastell/Metabolismo_de_farmacos.pdf

Chamoli, N., Kumar, M., Das, S., Prabha, D., & Chauhan, J. S. (2024). Comparative Analysis of Hydroponically and Soil-Grown Lettuce. *Journal of Mountain Research*, *19*(2). https://doi.org/10.51220/JMR.V19-I2.61

Chia, S. Y., & Lim, M. W. (2022). A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1257*(1), 012001. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1257/1/012001

Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J. F., & Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (Tropaeolum tuberosum) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, *111*(1), 98–105. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.03.038

Choudhury, F. K., Rivero, R. M., Blumwald, E., & Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *Plant Journal*, *90*(5), 856–867. https://doi.org/10.1111/TPJ.13299

Chuang, Y. H., Liu, C. H., Sallach, J. B., Hammerschmidt, R., Zhang, W., Boyd, S. A., & Li, H. (2019). Mechanistic study on uptake and transport of pharmaceuticals in lettuce from water. *Environment International*, *131*, 104976. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.104976

Corrado, G., Vitaglione, P., Giordano, M., Raimondi, G., Napolitano, F., Di Stasio, E., Di Mola, I., Mori, M., & Rouphael, Y. (2021). Phytochemical responses to salt stress in red and green baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in a floating hydroponic module. *Separations*, *8*(10), 175. https://doi.org/10.3390/SEPARATIONS8100175/S1

Drane, K., Sheehan, M., Whelan, A., Ariel, E., & Kinobe, R. (2024). The Role of Wastewater Treatment Plants in Dissemination of Antibiotic Resistance: Source, Measurement, Removal and Risk Assessment. *Antibiotics 2024, Vol. 13, Page 668*, *13*(7), 668. https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS13070668

Du, J., Liu, Q., Pan, Y., Xu, S., Li, H., & Tang, J. (2023). The Research Status, Potential Hazards and Toxicological Mechanisms of Fluoroquinolone Antibiotics in the Environment. *Antibiotics 2023, Vol. 12, Page 1058*, *12*(6), 1058. https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS12061058

Eggen, T., Asp, T. N., Grave, K., & Hormazabal, V. (2011). Uptake and translocation of metformin, ciprofloxacin and narasin in forage- and crop plants. *Chemosphere*, *85*(1), 26–33. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2011.06.041

Erpel, F., Camilo, C., Mateos, R., & Ricardo Pérez-Correa, J. (2023). A macroporous resin purification process to obtain food-grade phlorotannin-rich extracts with α-glucosidase inhibitory activity from Chilean brown seaweeds: An UHPLC-MSn profiling. *Food Chemistry*, *402*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134472

FAO&WHO. (2021). Code of practice to minimize and contain antimicrobial resistance.Codex Alimentarius Code of Practice No. CXC 61-2005. *Codex Alimentarius Commission. Rome*.

Foyer, C. H., & Noctor, G. (2025). *Redox Homeostasis and Signaling in a Higher-CO 2 World*. *22*, 39. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718

Gargaro, M., Murphy, R. J., & Harris, Z. M. (2023). Let-Us Investigate; A Meta-Analysis of Influencing Factors on Lettuce Crop Yields within Controlled-Environment Agriculture Systems. *Plants*, *12*(14), 2623. https://doi.org/10.3390/PLANTS12142623/S1

Gechev, T. S., Van Breusegem, F., Stone, J. M., Denev, I., & Laloi, C. (2006). Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *BioEssays*, *28*(11), 1091–1101. https://doi.org/10.1002/BIES.20493,

Geng, J., Liu, X., Wang, J., & Li, S. (2022). Accumulation and risk assessment of antibiotics in edible plants grown in contaminated farmlands: A review. *Science of The Total Environment*, *853*, 158616. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.158616

Godínez, P. L., Rico, A. K., Ferrusquía, N. I., Carbajal, I. A., Villagómez, A. L., Torres, I., & Guevara, R. G. (2023). Plant hormesis: Revising of the concepts of biostimulation, elicitation and their application in a sustainable agricultural production. *Science of The Total Environment*, *894*, 164883. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164883

Goldstein, M., Shenker, M., & Chefetz, B. (2014). Insights into the uptake processes of wastewater-borne pharmaceuticals by vegetables. *Environmental Science and Technology*, *48*(10), 5593–5600. https://doi.org/10.1021/ES5008615/SUPPL_FILE/ES5008615_SI_001.PDF

Gomes, M. P., Gonçalves, C. A., de Brito, J. C. M., Souza, A. M., da Silva Cruz, F. V., Bicalho, E. M., Figueredo, C. C., & Garcia, Q. S. (2017). Ciprofloxacin induces oxidative stress in duckweed (Lemna minor L.): Implications for energy metabolism and antibiotic-uptake ability. *Journal of Hazardous Materials*, *328*, 140–149. https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2017.01.005

Gomes, M. P., Rocha, D. C., Moreira de Brito, J. C., Tavares, D. S., Marques, R. Z., Soffiatti, P., & Sant'Anna-Santos, B. F. (2020). Emerging contaminants in water used for maize irrigation: Economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *196*, 110549. https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2020.110549

Hadacek, F., Bachmann, G., Engelmeier, D., & Chobot, V. (2011). Hormesis and a chemical raison d'être for secondary plant metabolites. *Dose-Response*, *9*(1), 79–116. https://doi.org/10.2203/DOSE-RESPONSE.09-028.HADACEK/ASSET/IMAGES/LARGE/10.2203_DOSE-RESPONSE.09-028.HADACEK-FIG20.JPEG

Herklotz, P. A., Gurung, P., Vanden Heuvel, B., & Kinney, C. A. (2010). Uptake of human pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions. *Chemosphere*, *78*(11), 1416–1421. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2009.12.048

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ª ed.)*. (6th ed., Vol. 17). McGraw-Hill.

Hu, Y., Habibul, N., Hu, Y. Y., Meng, F. L., & Sheng, G. P. (2021). Chemical speciation of ciprofloxacin in aqueous solution regulates its phytotoxicity and uptake by rice (Oryza sativa L.). *Science of the Total Environment*, *771*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144787

Kayode-Afolayan, S. D., Ahuekwe, E. F., & Nwinyi, O. C. (2022). Impacts of pharmaceutical effluents on aquatic ecosystems. *Scientific African*, *17*, e01288. https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2022.E01288

Kerlinger, F. (2002). Investigacion del comportamiento: Técnicas y Metodología. In *Google Libros* (p. 525). http://books.google.com.mx/books?id=6Y3gOwAACAAJ%0Ahttps://padron.entretemas.com.ve/INICC2018-2/lecturas/u2/kerlinger-investigacion.pdf

Khan, A. H. A., & Barros, R. (2023). Pharmaceuticals in Water: Risks to Aquatic Life and Remediation Strategies. *Hydrobiology 2023, Vol. 2, Pages 395-409*, *2*(2), 395–409. https://doi.org/10.3390/HYDROBIOLOGY2020026

Kopáček, J., Kaňa, J., Porcal, P., & Stuchlík, E. (2021). Diverse effects of accelerating climate change on chemical recovery of alpine lakes from acidic deposition in soil-rich versus scree-rich catchments. *Environmental Pollution*, *284*, 117522. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117522

Korkina, L. G., Pastore, S., Luca, C. De, & Kostyuk, V. A. (2008). Metabolism of Plant

Polyphenols in the Skin: Beneficial Versus Deleterious Effects. *Current Drug Metabolism*, *9*(8), 710–729. https://doi.org/10.2174/138920008786049267

Kovalakova, P., Cizmas, L., McDonald, T. J., Marsalek, B., Feng, M., & Sharma, V. K. (2020). Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review. *Chemosphere*, *251*, 126351. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.126351

Kubalt, K. (2016). The role of phenolic compounds in plant resistance. *Biotechnol Food Sci*, *80*(2), 97–108. https://doi.org/10.204/PIWIK.JS

Kulik, K., Lenart-Boroń, A., & Wyrzykowska, K. (2023). Impact of Antibiotic Pollution on the Bacterial Population within Surface Water with Special Focus on Mountain Rivers. *Water (Switzerland)*, *15*(5), 1–25. https://doi.org/10.3390/w15050975

Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, *24*, e00370. https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2019.E00370

Lakew, A., Megersa, N., & Singh Chandravanshi, B. (2023). Validation of modified QuEChERS extraction method for quantitative enrichment of seven multiclass antibiotic residues from vegetables followed by RP-LC-UV analysis. *Heliyon*, *9*, 15227. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15227

Lam, K. L., Kong, W. P., Ling, P. Y., Lau, T. H., Ho, K. H., Lee, F. W. F., & Chan, P. L. (2020). Antibiotic-Resistant Bacteria in Hydroponic Lettuce in Retail: A Comparative Survey. *Foods 2020, Vol. 9, Page 1327*, *9*(9), 1327. https://doi.org/10.3390/FOODS9091327

Lehmann, L., & Bloem, E. (2021). Antibiotic residues in substrates and output materials from biogas plants – Implications for agriculture. *Chemosphere*, *278*, 130425. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.130425

Li, X., Liu, F., Xi, S., Xie, H., Li, J., & Liu, G. (2023). Removal of antibiotics and antibiotic resistance genes in the synthetic oxytetracycline wastewater by UASB-A/O(MBR) process. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *11*(3), 109699. https://doi.org/10.1016/J.JECE.2023.109699

Liu, L., Liu, Y. H., Liu, C. X., Wang, Z., Dong, J., Zhu, G. F., & Huang, X. (2013). Potential effect and accumulation of veterinary antibiotics in Phragmites australis under hydroponic conditions. *Ecological Engineering*, *53*, 138–143. https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2012.12.033

Liu, Z., Bahadoran, A., Alizadeh, A., Emami, N., Al-Musaw, T. J., Alawadi, A. H. R.,

Aljeboree, A. M., Shamsborhan, M., Najafipour, I., Mousavi, S. E., Mosallanezhad, M., & Toghraie, D. (2023). Sonocrystallization of a novel ZIF/zeolite composite adsorbent with high chemical stability for removal of the pharmaceutical pollutant azithromycin from contaminated water. *Ultrasonics Sonochemistry*, *97*, 106463. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106463

Luan, X., Han, Z., Shen, Y., Yang, M., & Zhang, Y. (2021). Assessing the effect of treated erythromycin fermentation residue on antibiotic resistome in soybean planting soil: In situ field study. *Science of The Total Environment*, *779*, 146329. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146329

Lung, I., Soran, M. L., Sârb, A. N., Stegarescu, A., Moț, A. C., Ganea, I. V., Gligor, D. M., & Opriș, O. (2025). Modification in the Composition of *Lactuca sativa* L. Plants Exposed to Abiotic Stress Induced by Commonly Used Antibiotics. *Plants 2025, Vol. 14, Page 842*, *14*(6), 842. https://doi.org/10.3390/PLANTS14060842

Madikizela, L. M., Ncube, S., & Chimuka, L. (2018). Uptake of pharmaceuticals by plants grown under hydroponic conditions and natural occurring plant species: A review. *Science of The Total Environment*, *636*, 477–486. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.04.297

Martin, R. E., Postiglione, A. E., & Muday, G. K. (2022a). Reactive oxygen species function as signaling molecules in controlling plant development and hormonal responses. *Current Opinion in Plant Biology*, *69*. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102293

Martin, R. E., Postiglione, A. E., & Muday, G. K. (2022b). Reactive oxygen species function as signaling molecules in controlling plant development and hormonal responses. *Current Opinion in Plant Biology*, *69*, 102293. https://doi.org/10.1016/J.PBI.2022.102293

Miller, E. L., Nason, S. L., Karthikeyan, K. G., & Pedersen, J. A. (2016). Root Uptake of Pharmaceuticals and Personal Care Product Ingredients. *Environmental Science and Technology*, *50*(2), 525–541. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B01546/SUPPL_FILE/ES5B01546_SI_001.PDF

MINSA. (2017). Tablas de composición de alimentos. In *Revista de enfermeria (Barcelona, Spain)* (Vol. 6, Issue 56). https://repositorio.ins.gob.pe/server/api/core/bitstreams/2ee9e34b-d816-4f34-8fb9-81ae3b0fd3e5/content

Mittler, R. (2017). ROS Are Good. *Trends in Plant Science*, *22*(1), 11–19. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002

Morales, F., Ancín, M., Fakhet, D., González-Torralba, J., Gámez, A. L., Seminario, A., Soba, D., Ben Mariem, S., Garriga, M., & Aranjuelo, I. (2020). Photosynthetic Metabolism under Stressful Growth Conditions as a Bases for Crop Breeding and Yield Improvement. *Plants*, *9*(1), 88. https://doi.org/10.3390/PLANTS9010088

Mukhtar, A., Manzoor, M., Gul, I., Zafar, R., Jamil, H. I., Niazi, A. K., Ali, M. A., Park, T. J., & Arshad, M. (2020). Phytotoxicity of different antibiotics to rice and stress alleviation upon application of organic amendments. *Chemosphere*, *258*, 127353. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127353

Mula, J., Chiara, F., Manca, A., Palermiti, A., Maiese, D., Cusato, J., Simiele, M., De Rosa, F. G., Di Perri, G., De Nicolò, A., & D'Avolio, A. (2023). Analytical validation of a novel UHPLC-MS/MS method for 19 antibiotics quantification in plasma: Implementation in a LC-MS/MS Kit. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *163*. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114790

Nieto-Juárez, J. I., Torres-Palma, R. A., Botero-Coy, A. M., & Hernández, F. (2021). Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment International*, *155*, 106674. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2021.106674

Nunes, B., Veiga, V., Frankenbach, S., Serôdio, J., & Pinto, G. (2019). Evaluation of physiological changes induced by the fluoroquinolone antibiotic ciprofloxacin in the freshwater macrophyte species Lemna minor and Lemna gibba. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *72*, 103242. https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2019.103242

O'Connor, J., Hoang, S. A., Bradney, L., Dutta, S., Xiong, X., Tsang, D. C. W., Ramadass, K., Vinu, A., Kirkham, M. B., & Bolan, N. S. (2021). A review on the valorisation of food waste as a nutrient source and soil amendment. *Environmental Pollution*, *272*, 115985. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115985

Oharisi, O. oke L., Ncube, S., Nyoni, H., Madikizela, M. L., Olowoyo, O. J., & Maseko, B. R. (2023). Occurrence and prevalence of antibiotics in wastewater treatment plants and effluent receiving rivers in South Africa using UHPLC-MS determination. *Journal of Environmental Management*, *345*, 118621. https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118621

Otero, P., López-Martínez, M. I., & García-Risco, M. R. (2019). Application of pressurized

liquid extraction (PLE) to obtain bioactive fatty acids and phenols from Laminaria ochroleuca collected in Galicia (NW Spain). *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *164*, 86–92. https://doi.org/10.1016/J.JPBA.2018.09.057

Paradiso, R., Arena, C., De Micco, V., Giordano, M., Aronne, G., & De Pascale, S. (2017). Changes in leaf anatomical traits enhanced photosynthetic activity of soybean grown in hydroponics with plant growth-promoting microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 674. https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00674/FULL

Patangia, D. V., Anthony Ryan, C., Dempsey, E., Paul Ross, R., & Stanton, C. (2022). Impact of antibiotics on the human microbiome and consequences for host health. *MicrobiologyOpen*, *11*(1), e1260. https://doi.org/10.1002/MBO3.1260;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Patel, P., Wermuth, H. R., Calhoun, C., & Hall, G. A. (2023). Antibiotics. *Chronic Rhinosinusitis: The Mucosal Concept*, 341–353. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0784-4_43

Pereira, E. G., Ferreira, L. M., Fernandes, E. da C., Lima, B. R. de, Santos, L. A., & Fernandes, M. S. (2021). Root morphology and ammonium uptake kinetics in two traditional rice varieties submitted to different doses of ammonium nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(18), 2715–2728. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1927088

Rai, K. K., Pandey, N., Meena, R. P., & Rai, S. P. (2021). Biotechnological strategies for enhancing heavy metal tolerance in neglected and underutilized legume crops: A comprehensive review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *208*, 111750. https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2020.111750

Ramos, A. Q., Ramos, Y. M., Camaticona, N. M. Q., Tejeda, J. L. R., Quiróz, C. N. C., Maldonado, I., Huamán-Castilla, N. L., & Vilca, F. Z. (2023). Deciphering Ciprofloxacin's Impact on Growth Attributes and Antioxidant Compounds in Pasankalla Quinoa. *Agronomy 2023, Vol. 13, Page 1738*, *13*(7), 1738. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071738

Riaz, A., Deng, F., Chen, G., Jiang, W., Zheng, Q., Riaz, B., Mak, M., Zeng, F., & Chen, Z. H. (2022). Molecular Regulation and Evolution of Redox Homeostasis in Photosynthetic Machinery. *Antioxidants*, *11*(11), 2085. https://doi.org/10.3390/ANTIOX11112085/S1

Rocha, D. C., da Silva Rocha, C., Tavares, D. S., de Morais Calado, S. L., & Gomes, M. P. (2021). Veterinary antibiotics and plant physiology: An overview. *Science of The*

Total Environment, *767*, 144902. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.144902

Ruiz, J. A., Medina, G., Gonzales, I. J., Flores, H. E., Ramirez, G., Ortiz, C., Byerl, K. F., & Martinez, R. A. (2020). Requerimientos agroecológicos de cultivos 2da Edición. In *ResearchGate* (Issue July). https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf

Russell, J. N., & Yost, C. K. (2021). Alternative, environmentally conscious approaches for removing antibiotics from wastewater treatment systems. *Chemosphere*, *263*, 128177. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.128177

Sahu, P. K., Jayalakshmi, K., Tilgam, J., Gupta, A., Nagaraju, Y., Kumar, A., Hamid, S., Singh, H. V., Minkina, T., Rajput, V. D., & Rajawat, M. V. S. (2022). ROS generated from biotic stress: Effects on plants and alleviation by endophytic microbes. *Frontiers in Plant Science*, *13*(October), 1–19. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1042936

Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants 2021, Vol. 10, Page 118*, *10*(1), 118. https://doi.org/10.3390/PLANTS10010118

Savchenko, T., & Tikhonov, K. (2021). Oxidative Stress-Induced Alteration of Plant Central Metabolism. *Life*, *11*(4), 304. https://doi.org/10.3390/LIFE11040304

Senizza, B., Zhang, L., Miras-Moreno, B., Righetti, L., Zengin, G., Ak, G., Bruni, R., Lucini, L., Sifola, M. I., El-Nakhel, C., Corrado, G., & Rouphael, Y. (2020). The Strength of the Nutrient Solution Modulates the Functional Profile of Hydroponically Grown Lettuce in a Genotype-Dependent Manner. *Foods 2020, Vol. 9, Page 1156*, *9*(9), 1156. https://doi.org/10.3390/FOODS9091156

Shariati, A., Arshadi, M., Khosrojerdi, M. A., Abedinzadeh, M., Ganjalishahi, M., Maleki, A., Heidary, M., & Khoshnood, S. (2022). The resistance mechanisms of bacteria against ciprofloxacin and new approaches for enhancing the efficacy of this antibiotic. *Frontiers in Public Health*, *10*, 1025633. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.1025633

Sharifmand, M., Sepehr, E., Rasouli-Sadaghiani, M. H., Asri-Rezaei, S., & Rengel, Z. (2024). Antibiotics pollutants in agricultural soil: Kinetic, sorption, and thermodynamic of ciprofloxacin. *Heliyon*, *10*(18), e37035. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E37035

Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*, *2012*(1), 217037. https://doi.org/10.1155/2012/217037

Sleight, H., Boxall, A. B. A., & Toet, S. (2023). Uptake of Pharmaceuticals by Crops: A Systematic Review and Meta-analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *42*(10), 2091–2104. https://doi.org/10.1002/ETC.5700

Sorinolu, A. J., Tyagi, N., Kumar, A., & Munir, M. (2021). Antibiotic resistance development and human health risks during wastewater reuse and biosolids application in agriculture. *Chemosphere*, *265*, 129032. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.129032

Stiller, A., Garrison, K., Gurdyumov, K., Kenner, J., Yasmin, F., Yates, P., & Song, B. H. (2021). From Fighting Critters to Saving Lives: Polyphenols in Plant Defense and Human Health. *International Journal of Molecular Sciences 2021, Vol. 22, Page 8995*, *22*(16), 8995. https://doi.org/10.3390/IJMS22168995

Tamayo y Tamayo, M. (1994). El Proceso de la Investigacion Cientifica. *Limusa*, 435. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf

Vogelmann, E. S., Júnior, J. B., & Tiruneh, G. A. (2025). Bio-product as a nutritional approach for sustainable hydroponic lettuce cultivation. *Discover Applied Sciences*, *7*(8), 1–15. https://doi.org/10.1007/S42452-025-07534-9/TABLES/2

Wang, P., Gao, W., Salant, L. C., & Cropotova, J. (2022). An Update on Effectiveness and Practicability of Plant Essential Oils in the Food Industry. *Plants 2022, Vol. 11, Page 2488*, *11*(19), 2488. https://doi.org/10.3390/PLANTS11192488

Wang, S., Jia, X. D., Liu, M. L., Lu, Y., & Guo, H. Y. (2012). Synthesis, antimycobacterial and antibacterial activity of ciprofloxacin derivatives containing a N-substituted benzyl moiety. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, *22*(18), 5971–5975. https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.07.040

Wilkinson, J. L., Boxall, A. B. A., Kolpin, D. W., Leung, K. M. Y., Lai, R. W. S., Galban-Malag, C., Adell, A. D., Mondon, J., Metian, M., Marchant, R. A., Bouzas-Monroy, A., Cuni-Sanchez, A., Coors, A., Carriquiriborde, P., Rojo, M., Gordon, C., Cara, M., Moermond, M., Luarte, T., … Teta, C. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *119*(8), e2113947119.

https://doi.org/10.1073/PNAS.2113947119/SUPPL_FILE/PNAS.2113947119.SD12.XLSX

Wu, X., Dodgen, L. K., Conkle, J. L., & Gan, J. (2015). Plant uptake of pharmaceutical and personal care products from recycled water and biosolids: a review. *Science of The Total Environment*, *536*, 655–666. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.07.129

Yan, C., Yang, Y., Zhou, J., Liu, M., Nie, M., Shi, H., & Gu, L. (2013). Antibiotics in the surface water of the Yangtze Estuary: Occurrence, distribution and risk assessment. *Environmental Pollution*, *175*, 22–29. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2012.12.008,

Yan, Y., Xu, X., Shi, C., Yan, W., Zhang, L., & Wang, G. (2019). Ecotoxicological effects and accumulation of ciprofloxacin in Eichhornia crassipes under hydroponic conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(29), 30348–30355. https://doi.org/10.1007/S11356-019-06232-5,

Yang, S., Long, R., Wu, M., Chen, H., & Li, Q. (2023). Research progress and frontier of global solid waste management based on bibliometrics. *Environmental Development*, *48*, 100922. https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2023.100922

Zapata-Zúñiga, M. C., Parra-Pérez, M. Á., Alexander Álvarez-Berrio, J., Zapata-Zuñiga, M. C., Parra-Pérez, M. A., Álvarez-Berrio, J. A., & Molina-Gómez, N. I. (2022). Technologies in Wastewater Treatment Plants for the Removal of Antibiotics, Resistant Bacteria and Antibiotic Resistance Genes: a Review of the Current Literature. *Ingenieria y Universidad*, *26*, 2022. https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.IYU26.TWTP

Zhang, G. F., Liu, X., Zhang, S., Pan, B., & Liu, M. L. (2018). Ciprofloxacin derivatives and their antibacterial activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *146*, 599–612. https://doi.org/10.1016/J.EJMECH.2018.01.078

Zhang, S., Huang, J., Zhao, Z., Cao, Y., & Li, B. (2020). Hospital Wastewater as a Reservoir for Antibiotic Resistance Genes: A Meta-Analysis. *Frontiers in Public Health*, *8*. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2020.574968,

Zhao, H. M., Huang, H. B., Zhan, Z. X., Ye, Y. Y., Cheng, J. L., Xiang, L., Li, Y. W., Cai, Q. Y., Xie, Y., & Mo, C. H. (2024). Insights into the molecular network underlying phytotoxicity and phytoaccumulation of ciprofloxacin. *Science of The Total Environment*, *912*, 169392. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.169392

Zieliński, W., Korzeniewska, E., Harnisz, M., Drzymała, J., Felis, E., & Bajkacz, S. (2021).

Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment. *Environment International*, *156*, 106641. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2021.106641

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico

Figura 33

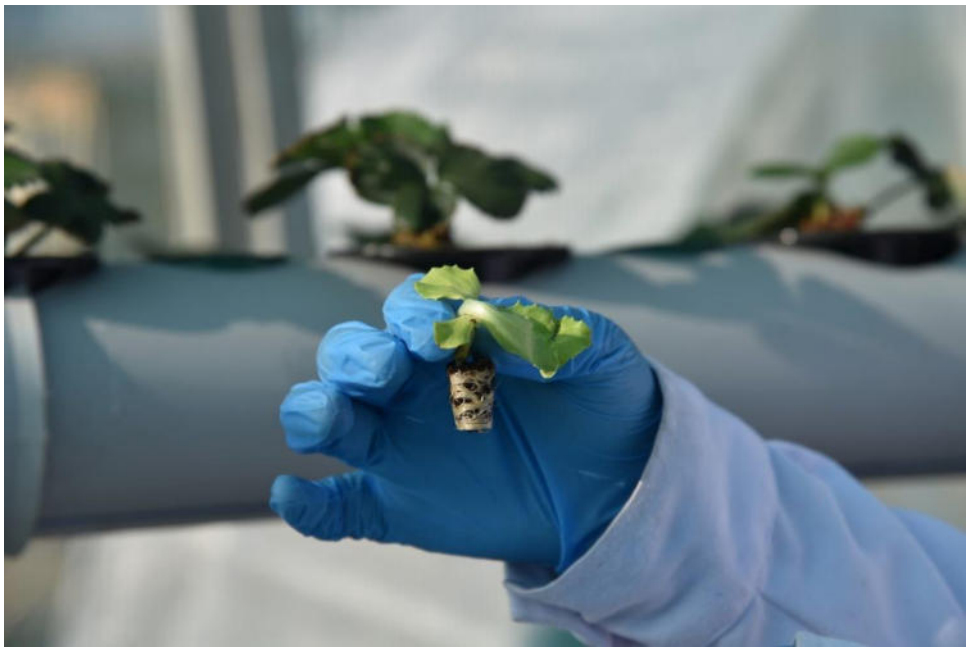
Preparación de la Solución Nutritiva



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 34

Trasplante de plántulas de lechuga



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 35

Acondicionamiento de las plántulas de lechuga en las canastillas con mezcla de turba y perlita



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 36

Colocación de canastillas en el sistema hidropónico (previamente acondicionado con solución nutritiva)



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 37

Proceso de crecimiento de la planta a los 12 días



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 38

Proceso de crecimiento de la planta a los 18 días



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 39

Proceso de crecimiento y madurez final a los 35 días (cosecha)



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 40

Selección de muestras por cada tratamiento



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 41

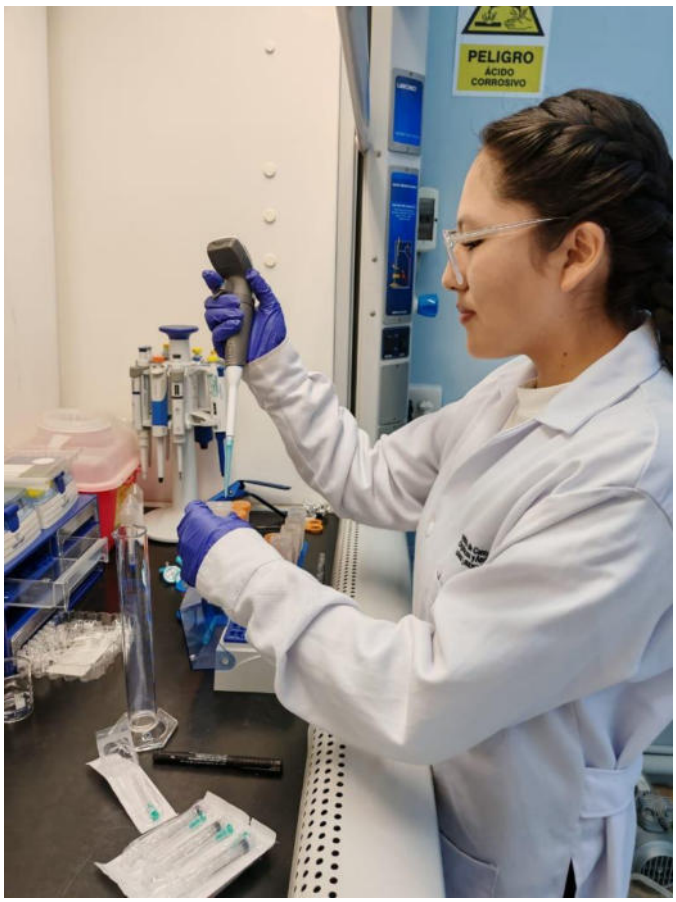
Medición de parámetros de la planta



Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 42

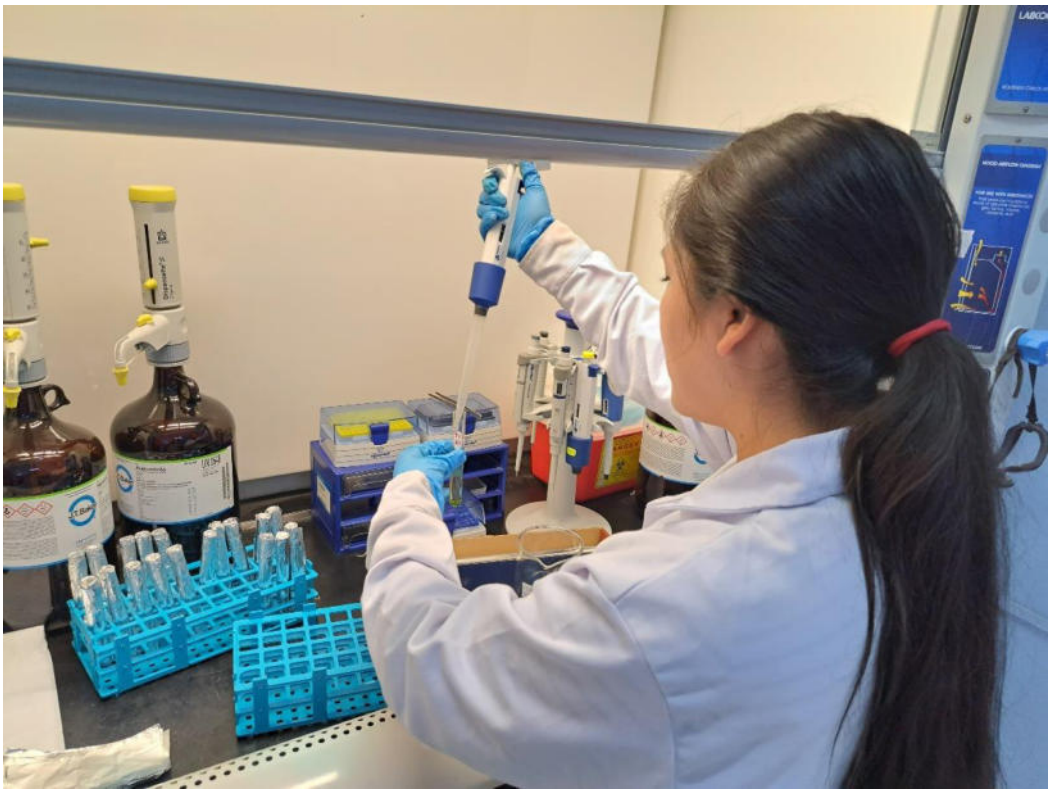
Pruebas de precisión a través de fortificaciones en matriz vegetal



Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura 43

Proceso de extracción de muestras para análisis de compuestos fenólicos



Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura 44

Proceso de centrifugado de muestras



Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura 45

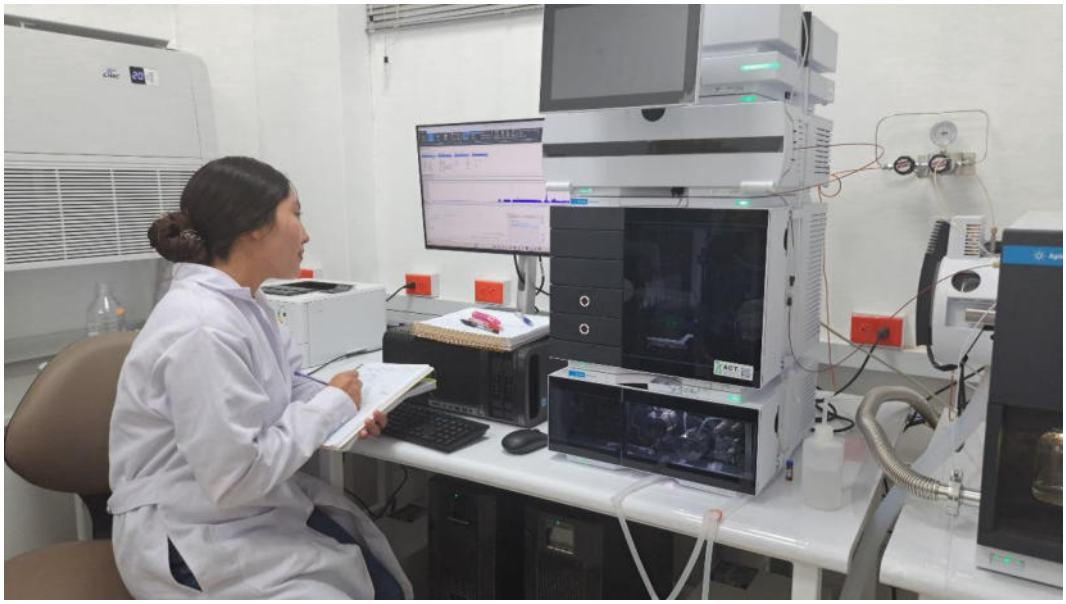
Preparación y extracción de muestras para el análisis en el LC-MS/MS



Fuente: Elaboración propia (2025)

Figura 46

Proceso de análisis de residuo de CIP en tejido vegetal

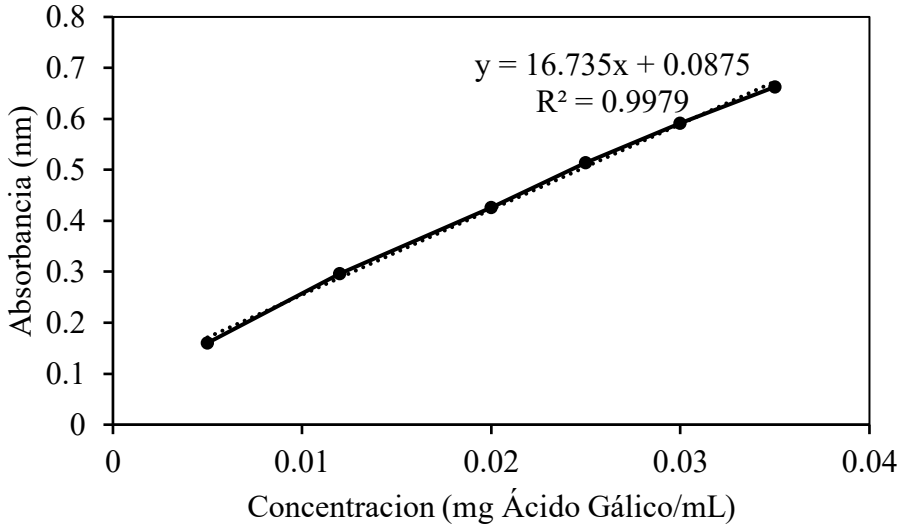


Fuente: Elaboración propia (2025)

Anexo 2. Curva estándar de Ácido Gálico

Figura 47

Curva estándar de Ácido Gálico



Nota. Elaboración propia

Tabla 33

Puntos de la curva de estándar de Ácido Gálico

Punto de calibración	Concentración (mg Ácido Gálico/mL)	Absorbancia (nm)
1	0	0
2	0.005	0.159 ± 0.161
3	0.012	0.295 ± 0.299
4	0.020	0.422 ± 0.431
5	0.025	0.512 ± 0.515
6	0.030	0.588 ± 0.596
7	0.035	0.655 ± 0.672

Nota. Elaboración propia

Anexo 3. Análisis estadístico de datos

3.1. Biomasa aérea

3.1.1. Resultados de las evaluaciones de Biomasa aérea de la aplicación radicular

3.1.2. Biomasa aérea de la planta en la aplicación radicular

Tabla 34

Resultados obtenidos de la Biomasa aérea (Aplicación radicular)

Tratamiento	Biomasa aérea (gramos)	Promedio	DV	CV
T1R1	0.29473			
T1R2	0.28679			
T1R3	0.30155	0.293628	0.01	1.96
T1R4	0.28942			
T1R5	0.29565			
T2R1	0.32662			
T2R2	0.33121			
T2R3	0.33928	0.332876	0.00	1.39
T2R4	0.33464			
T2R5	0.33263			
T3R1	0.36978			
T3R2	0.34593			
T3R3	0.34177	0.351308	0.01	3.11
T3R4	0.35178			
T3R5	0.34728			
T4R1	0.38948			
T4R2	0.38559			
T4R3	0.38414	0.384258	0.00	0.92
T4R4	0.38105			
T4R5	0.38103			

Nota. Elaboración propia

Tabla 35

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la biomasa aérea de la planta

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Biomasa aérea (mg)	Shapiro Wilk	0.92215	0.109

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos siguen una distribución normal

Tabla 36

Prueba de homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea de la planta

Estadístico de Levene	gl	p-valor
0.6284	3	0.6072

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 37

ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta

Fuentes de variación	gl	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	p-valor
Tratamientos	3	21,433	7,144	153.2	0.00000000000
Error exp.	16	746	47		538
Total	19	22,179			

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de tratamientos es diferente

Tabla 38

Prueba de Duncan para la biomasa aérea de la planta

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T4 (10 ug/L)	384.258	a	1°
2	T3 (5 ug/L)	351.308	b	2°
3	T2 (1 ug/L)	332.876	c	3°
4	T1 (0 ug/L)	293.628	d	4°

Nota. El T4 fue el mejor tratamiento.

3.1.3. Biomasa aérea de la planta en la aplicación foliar

Tratamiento	Biomasa aérea (gramos)	Promedio	DV	CV
T1R1	0.10019	0.12	0.02	14.09
T1R2	0.13598			

T1R3	0.1161			
T1R4	0.1354			
T2R1	0.18826	0.17	0.01	7.38
T2R2	0.17511			
T2R3	0.1714			
T2R4	0.15721			
T3R1	0.27552	0.28	0.01	2.84
T3R2	0.2659			
T3R3	0.28476			
T3R4	0.27823			

Nota. Elaboración propia

Tabla 39

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la biomasa aérea de la planta

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Biomasa aérea (mg)	Shapiro Wilk	0.87821	0.08315

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos siguen una distribución normal

Tabla 40

Prueba de homogeneidad de varianzas para la biomasa aérea de la planta

Estadístico de Levene	gl	p-valor
1.4487	3	0.2848

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 41

ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino sobre la biomasa aérea de la planta

Fuentes de variación	gl	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	p-valor
Tratamientos	2	49,351	24,675	142.5	0.000000154
Error exp.	9	1,559	173		
Total	1	50,910			

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de tratamientos es diferente

Tabla 42

Prueba de Duncan para la biomasa aérea de la planta

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T3 (10 ug/L)	276.1025	a	1°
2	T2 (5 ug/L)	172.995	b	2°
3	T1 (1 ug/L)	121.9175	c	3°

Nota. El T3 fue el mejor tratamiento.

3.2. Contenido de polifenoles totales

3.2.1. Contenido de polifenoles en la aplicación radicular

Tabla 43

Resultados obtenidos de contenido de polifenoles en la aplicación radicular

Tratamiento	Polifenoles totales (mg EAG/gbs)	Promedio	DV	CV
T1R1	0.117			
T1R2	0.239			
T1R3	0.202	0.194	0.06	28.79
T1R4	0.251			
T1R5	0.159			
T2R1	0.242			
T2R2	0.246			
T2R3	0.302	0.254	0.03	12.77
T2R4	0.214			
T2R5	0.266			
T3R1	0.264			
T3R2	0.239			
T3R3	0.267	0.256	0.01	4.56
T3R4	0.259			
T3R5	0.249			
T4R1	0.329			
T4R2	0.440	0.382	0.04	10.34
T4R3	0.389			
T4R4	0.373			

T4R5	0.379

Nota. Elaboración propia

Tabla 44

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para el contenido de polifenoles totales de la planta

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Contenido de polifenoles totales (mg EAG/gbs)	Shapiro Wilk	0.94417	0.2871

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos siguen una distribución normal

Tabla 45

Prueba de homogeneidad de varianzas para el contenido de polifenoles totales de la planta

Estadístico de Levene	gl	p-valor
1.7181	3	0.2035

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 46

ANOVA de 1 factor para el efecto de la aplicación de Ciprofloxacino en el contenido de polifenoles totales de la planta

Fuentes de variación	gl	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	p-valor
Tratamientos	3	0.09438	0.031459	21.46	0.000007
Error exp.	16	0.02345	0.001466		46
Total	19	0.11783			

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de tratamientos es diferente

Tabla 47

Prueba de Duncan para el contenido de polifenoles totales de la planta

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T4 (10 ug/L)	0.3822826	a	1°
2	T3 (5 ug/L)	0.2556667	b	2°

3	T2 (1 ug/L)	0.2539588	b	2°
4	T1 (0 ug/L)	0.1937556	c	3°

Nota. El T4 fue el mejor tratamiento.

3.2.2. Contenido de polifenoles en la aplicación foliar

Tabla 48

Resultados obtenidos del contenido de polifenoles en la aplicación foliar

Tratamiento	Polifenoles totales (mg EAG/gbs)	Promedio	DV	CV
1	0.706	0.703	0.00	0.33
1	0.701			
1	0.702			
1	0.704			
2	0.734	0.732	0.00	0.34
2	0.734			
2	0.729			
2	0.732			
3	0.912	0.909	0.00	0.55
3	0.912			
3	0.902			
3	0.912			

Nota. Elaboración propia

Tabla 49

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para el contenido de polifenoles totales

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Contenido de polifenoles totales (mg EAG/gbs)	Shapiro Wilk	0.70902	0.001031

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal

Tabla 50

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	10.0214
Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.01
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 51

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en el contenido de polifenoles

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo ($p \leq 0.025$)
T2 vs T1	-1.582825	0.1702	No
T3 vs T1	-3.165651	0.0023	**Si**
T3 vs T2	-1.582825	0.1702	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.3. Capacidad antioxidante

3.3.1. Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación radicular

Tabla 52

Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante ORAC (radicular)

Tratamiento	Cap. Antioxidante	Promedio	DV	CV
T1R1	45.428			
T1R2	44.783			
T1R3	45.783	45.299	0.59	1.30
T1R4	44.594			
T1R5	45.906			
T2R1	46.228			
T2R2	45.150			
T2R3	46.228	45.992	0.51	1.11
T2R4	46.450			
T2R5	45.906			
T3R1	46.400			
T3R2	47.600			
T3R3	47.444	47.023	0.50	1.05
T3R4	46.756			
T3R5	46.917			
T4R1	49.439	50.906	1.26	2.48

T4R2	52.339
T4R3	52.117
T4R4	50.289
T4R5	50.344

Nota. Elaboración propia

Tabla 53

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método ORAC

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante ORAC (µmol ET/gbs)	Shapiro Wilk	0.85862	0.00746

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal

Tabla 54

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	18.1298
Grados de libertad (gl)	3
p-valor	0.0004136
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 55

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por ORAC

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo ($p \leq 0.025$)
T2 vs T1	-0.962140	1.0000	No
T3 vs T1	-2.405351	0.0485	No
T3 vs T2	- 1.443210	0.4469	No
T4 vs T1	- 3.795109	0.0004	**Si**
T4 vs T2	-2.832969	0.0138	**Sí**

T4 vs T3	-1.389758	0.4938	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.3.2. Capacidad antioxidante por el método ORAC en la aplicación foliar

Tabla 56

Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante ORAC (foliar)

Tratamiento	Cap. Antioxidante	Promedio	DV	CV
T1R1	41.300	42.169	0.82	1.95
T1R2	43.125			
T1R3	41.700			
T1R4	42.550			
T2R1	45.233	46.176	1.18	2.54
T2R2	46.576			
T2R3	45.233			
T2R4	47.661			
T3R1	51.072	56.254	5.15	9.16
T3R2	55.726			
T3R3	54.850			
T3R4	63.367			

Nota. Elaboración propia

Tabla 57

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante por método ORAC

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante ORAC (µmol ET/gbs)	Shapiro Wilk	0.88253	0.09446

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos siguen una distribución normal

Tabla 58

Prueba de homogeneidad de varianzas para la capacidad antioxidante ORAC

Estadístico de Levene	gl	p-valor
1.8181	2	0.2172

Nota. Si el p-valor es mayor al alfa (0.05), entonces los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Tabla 59

ANOVA de 1 factor para el efecto del Ciprofloxacino la capacidad antioxidante de la planta

Fuentes de variación	gl	Suma de cuadrados	Media Cuadrática	F	p-valor
Tratamientos	2	421.3	210.67	22.08	0.000338
Error exp.	9	85.9	9.54		
Total	11	507.2			

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de tratamientos es diferente

Tabla 60

Prueba de Duncan para la capacidad antioxidante de la planta

N° de orden	Tratamientos	Promedio	Significación (0.05)	Merito
1	T3 (10 ug/L)	56.25372	a	1°
2	T2 (5 ug/L)	46.17594	b	2°
3	T1 (0 ug/L)	42.16875	b	2°

Nota. El T3 fue el mejor tratamiento.

3.3.3. Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación radicular

Tabla 61

Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante DPPH (radicular)

Tratamiento	Cap. Antioxidante	Promedio	DV	CV
T1R1	1.961			
T1R2	1.983			
T1R3	1.958	1.968	0.01	0.52
T1R4	1.974			
T1R5	1.965			
T2R1	1.239			
T2R2	1.118	1.197	0.07	6.08
T2R3	1.118			

T2R4	1.264			
T2R5	1.246			
T3R1	1.032			
T3R2	1.255			
T3R3	1.286	1.220	0.11	8.91
T3R4	1.299			
T3R5	1.228			
T4R1	1.077			
T4R2	1.098			
T4R3	1.092	1.100	0.03	2.83
T4R4	1.080			
T4R5	1.154			

Nota. Elaboración propia

Tabla 62

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método DPPH

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante DPPH ($IC_{50} mg/mL$)	Shapiro Wilk	0.72315	0.00007572

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 63

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	13.537
Grados de libertad (gl)	3
p-valor	0.003608
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 64

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo (p ≤ 0.025)
T2 vs T1	2.298446	0.0646	No
T3 vs T1	2.084637	0.1113	No
T3 vs T2	3.634752	0.0008	**Sí**
T4 vs T1	-0.213808	1.0000	No
T4 vs T2	1.336306	0.5443	No
T4 vs T3	1.550115	0.3633	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.3.4. Capacidad antioxidante por el método DPPH en la aplicación foliar

Tabla 65

Resultados obtenidos de la Capacidad antioxidante DPPH (foliar)

Tratamiento	Cap. Antioxidante	Promedio	DV	CV
T1R1	1.850	1.644	0.37	22.44
T1R2	1.800			
T1R3	1.092			
T1R4	1.837			
T2R1	0.388	0.691	0.25	35.61
T2R2	0.750			
T2R3	0.980			
T2R4	0.645			
T3R1	0.422	0.658	0.23	34.99
T3R2	0.504			
T3R3	0.897			
T3R4	0.809			

Nota. Elaboración propia

Tabla 66

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para la capacidad antioxidante de los polifenoles por el método DPPH

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Capacidad antioxidante DPPH ($IC_{50} mg/mL$)	Shapiro Wilk	0.85494	0.04227

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 67

Test de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	7.3846
Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.02491
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 68

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en el efecto de la aplicación de CIP en la capacidad antioxidante por DPPH

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo (p ≤ 0.025)
T2 vs T1	2.353393	0.0279	**Si**
T3 vs T1	2.353393	0.0279	**Si**
T3 vs T2	0.000000	1.0000	No

Nota. T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.4. Residuo de Ciprofloxacino en tejido vegetal

3.4.1. Residuos de CIP en tejido vegetal en la aplicación radicular

Tabla 69

Resultados obtenidos del residuo de CIP (radicular)

Tratamiento	Concentración (µg/g)	DV	CV

T1R1	0.0000			
T1R2	0.0000			
T1R3	0.0000	0.0000	0.00000	0
T1R4	0.0000			
T1R5	0.0000			
T2R1	0.0062			
T2R2	0.0062			
T2R3	0.0061	0.0062	0.00004	0.72
T2R4	0.0062			
T2R5	0.0062			
T3R1	0.0030			
T3R2	0.0030			
T3R3	0.0029	0.0030	0.00006	2.09
T3R4	0.0029			
T3R5	0.0030			
T4R1	0.0020			
T4R2	0.0021			
T4R3	0.0020	0.0021	0.00006	2.92
T4R4	0.0020			
T4R5	0.0021			

Nota. Elaboración propia

Tabla 70

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para los residuos de Ciprofloxacino en la planta

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Residuo de Ciprofloxacino (µg/g)	Shapiro Wilk	0.85199	0.005757

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 71

Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	18.1298
Grados de libertad (gl)	3

p-valor	0.0004136
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 72

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo (p ≤ 0.025)
T2 vs T1	-4.039405	0.0002	**Sí**
T3 vs T1	-2.692936	0.0212	**Sí**
T4 vs T1	-1.346468	0.5345	No
T3 vs T2	1.346468	0.5345	No
T4 vs T2	2.692936	0.0212	**Sí**
T4 vs T3	1.346468	0.5345	No

Nota. No hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados (p ≤ 0.025)

* T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 1 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T4= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

3.4.2. Residuos de CIP en tejido vegetal en la aplicación foliar

Tabla 73

Resultados obtenidos de residuo de CIP (foliar)

Tratamiento	Concentración (µg/g)	Promedio	DV	CV
T1R1	0.0000	0.0000	0.0000	0
T1R2	0.0000			
T1R3	0.0000			
T1R4	0.0000			
T2R1	0.0014	0.0022	0.0008	36.9950
T2R2	0.0030			
T2R3	0.0017			
T2R4	0.0029			
T3R1	0.0017	0.0016	0.0004	25.2480

T3R2	0.0012
T3R3	0.0014
T3R4	0.0021

Nota. Elaboración propia

Tabla 74

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilk) para los residuos de Ciprofloxacino en la planta

Variable	Test de Normalidad	Estadístico	p-valor
Residuo de Ciprofloxacino (µg/g)	Shapiro Wilk	0.88274	0.09503

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 75

Test de Kruskal-Wallis para la evaluación de residuo de CIP en la planta

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado	8.2899
Grados de libertad (gl)	2
p-valor	0.02
Nivel de significancia (α)	0.05

Nota. Si el p-valor es menor al alfa (0.05), entonces al menos uno de los grupos de tratamientos es diferente

Tabla 76

Comparaciones múltiples (ajuste de Bonferroni) en la evaluación de residuo de CIP en tejido vegetal

Comparación	Estadístico	p-valor	Significativo ($p \leq 0.025$)
T2 vs T1	-2.794922	0.0078	**Sí**
T3 vs T1	-1.996373	0.0688	No
T3 vs T2	0.798549	0.6368	No

Nota. No hay diferencias estadísticamente significativas en la mediana de los grupos evaluados ($p \leq 0.025$)

* T1=Agua osmotizada + Solución nutritiva A,B y C; T2= 5 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C; T3= 10 µg/L de CIP + Solución nutritiva A,B y C.

Anexo 4. Reporte de datos de Temperatura y Humedad Relativa

Fecha	T° Máx (°C)	T° Mín (°C)	Humedad Relativa (%)
2024-11-03	26.5	17.2	76.7
2024-11-04	24.0	17.9	85.6
2024-11-05	23.8	16.8	84.9
2024-11-06	25.0	14.9	82.3
2024-11-07	25.6	18.4	79.3
2024-11-08	23.2	17.6	88.1
2024-11-09	25.4	18.1	88.6
2024-11-10	28.1	16.8	82.6
2024-11-11	27.0	17.4	77.5
2024-11-12	26.1	18.0	86.6
2024-11-13	26.6	18.6	76.5
2024-11-14	26.9	15.5	87.1
2024-11-15	27.2	18.8	88.9
2024-11-16	26.4	18.9	84.9
2024-11-17	27.1	18.3	78.8
2024-11-18	28.0	17.6	82.8
2024-11-19	27.4	17.3	89.7
2024-11-20	26.8	19.7	85.2
2024-11-21	28.5	20.3	87.0
2024-11-22	28.6	18.2	84.1
2024-11-23	27.6	19.9	92.1
2024-11-24	26.5	19.6	84.3
2024-11-25	25.3	18.7	94.1
2024-11-26	25.8	18.6	93.3
2024-11-27	28.2	19.1	87.0
2024-11-28	29.0	19.4	86.3
2024-11-29	28.7	20.2	87.1
2024-11-30	29.5	20.8	86.7
2024-12-01	26.1	18.0	86.6
2024-12-02	26.6	18.6	76.5
2024-12-03	26.9	15.5	87.1
2024-12-04	27.2	18.8	88.9
2024-12-05	26.4	18.9	84.9
2024-12-06	27.1	18.3	78.8
2024-12-07	28.0	17.6	82.8
2024-12-08	27.4	17.3	89.7
2024-12-09	26.8	19.7	85.2

Nota. Elaboración propia

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : NOEMI MAMANI CONDORI
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71579058
Correo electrónico : nmamani412@gmail.com
Teléfono/Celular : 921450190

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : EVALUACIÓN DEL INCREMENTO DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, BIOMASA AÉREA Y RESIDUO DE ANTIBIÓTICO POR MEDIO DE LA HORMESIS CON CIPROFLOXACINO EN LECHUGA *(Lactuca sativa)* HIDROPÓNICA
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 1.05.08
c) Fecha de publicación : 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : FRANZ ZIRENA VILCA
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 01341834
c) ORCID : 0000-0002-4534-0733

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71579058
NOMBRES Y APELLIDOS : NOEMI MAMANI CONDORI

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71579058

NOMBRES Y APELLIDOS : NOEMI MAMANI CONDORI

FECHA : 17/10/2025



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, NOEMI MAMANI CONDORI,
bachiller de la Escuela Profesional de: INGENIERIA AMBIENTAL
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 71579058, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
EVALUACIÓN DEL INCREMENTO DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, BIOMASA AÉREA Y RESIDUO DE ANTIBIÓTICO POR MEDIO DE LA HORMESIS CON CIPROFLOXACINO EN LECHUGA (*Lactuca sativa*) HIDROPÓNICA

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 17 de octubre del 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: NOEMI MAMANI CONDORI
DNI: 71579058

Noemi Mamani Condori

tesis

PROYECTOS DE TESIS

tesis

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3381317812

Fecha de entrega
21 oct 2025, 12:15 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
21 oct 2025, 12:19 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_FINAL_DE_TESIS_REPORTE_TURNITIN.docx

Tamaño del archivo
13.3 MB

99 páginas

22.253 palabras

123.223 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNAM

Firmado digitalmente por ZIRENA VILCA Franz FAU 20449347448 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.10.2025 12:21:00 -05:00

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional de Moquegua 4%

2 Internet
hdl.handle.net <1%

3 Internet
1library.co <1%

4 Internet
repositorio.unam.edu.pe <1%

5 Internet
www.produccionbovina.com <1%

6 Publicación
Rusch, Valerie W., Dorothy Giroux, Catherine Kennedy, Enrico Ruffini, Ayten K. Ca... <1%

7 Publicación
David Anibal Paz Panduro. "Impacto de los diarios digitales en la votación elector... <1%

8 Publicación
Evelyn Ríos-Romero, Gipsy Tabilo-Munizaga, Juliana Morales-Castro, Juan E. Reyes... <1%

9 Internet
www.scribd.com <1%

10 Internet
www.coursehero.com <1%

11 Internet
renati.sunedu.gob.pe <1%

12 Publicación
Caceres Bustinza, Lycet Maria. "Evaluación del efecto de residuos de ciprofloxacin... <1%

13 Internet
core.ac.uk <1%

14 Publicación
Amy T. Y. Chang, Wai Tong Ng, Ada L. Y. Law, Ki Man Ku, Michael C. H. Lee, Anne ... <1%

15 Trabajos del estudiante
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez <1%

16 Internet
accesoabierto.uh.cu <1%

17 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional de Educación a Distancia <1%

18 Internet
patents.google.com <1%

19 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Agraria La Molina <1%

20 Internet
sired.udenar.edu.co <1%

21 Internet
repositorio.continental.edu.pe <1%

22 Internet
es.scribd.com <1%

23 Trabajos del estudiante
Universidad Católica de Santa María <1%

24 Internet
repositorio.ujcm.edu.pe <1%

25 Internet
www.researchgate.net <1%

26 Trabajos del estudiante
Universidad Autónoma de Nuevo León <1%

27 Internet
idoc.pub <1%

28 Trabajos del estudiante
Universidad Cesar Vallejo <1%

29 Internet
repositorio.utc.edu.ec <1%

30 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional del Centro del Peru <1%

31 Internet
repositorio.unah.edu.pe <1%

32 Trabajos del estudiante
unapiquitos <1%

33 Internet
roderic.uv.es <1%

34 Internet
www.scielo.org.mx <1%

35 Internet
boletin.invemar.org.co <1%

36 Internet
unam.edu.pe <1%

37 Internet
www.socictopen.socict.org <1%

38 Publicación
Javier Gerardo Zuzunaga Rosas. "Evaluación del producto bioestimulante BALOX ... <1%

39 Internet
repositorio.upao.edu.pe <1%

40	Publicación	
Ana Olvido Alfaro Fernández. "Epidemiología y variabilidad patogénica del virus d...		<1%
41	Internet	
repositorio.uaaan.mx:8080		<1%
42	Trabajos del estudiante	
cinvestav		<1%
43	Publicación	
"Efecto de la adición integrada de un extracto de coronta de maíz morado (Zea m...		<1%
44	Publicación	
Ronald Antonio Julca Alcántara, Lucila Del Carmen Vallejo Romo. "Application of u...		<1%
45	Internet	
repositorio.uns.edu.pe		<1%
46	Internet	
repositorio.uta.edu.ec		<1%
47	Publicación	
CLARA MIRACLE BELDA GALBIS. "APLICACIÓN CONJUNTA DE INGREDIENTES NATU...		<1%
48	Trabajos del estudiante	
uncedu		<1%
49	Internet	
www.dspace.espol.edu.ec		<1%
50	Publicación	
Christian Camilo Castañeda-Cardona, Diana Guerra-Ramírez, Juan Martínez-Solís, ...		<1%
51	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional de Trujillo		<1%
52	Publicación	
Victoria Samanidou, Eleni Christodoulou, Ioannis Papadoyannis. "Recent Advance...		<1%
53	Internet	
inba.info		<1%

54 Internet
repositorio.ucv.edu.pe <1%

55 Internet
www.repositorio.usac.edu.gt <1%

56 Internet
www.slideshare.net <1%

57 Publicación
Castro Perez, Gladys Marilu. "Composición nutricional y funcional de granos de q... <1%

58 Internet
eprints.uanl.mx <1%

59 Internet
issuu.com <1%

60 Internet
repositoriodigital.corfo.cl <1%

61 Internet
www.jove.com <1%

62 Internet
"Función de OCP3 en la resistencia de Arabidopsis frente a hongos necrotrofos.", ... <1%

63 Publicación
EDWIN BALDEON CHAMORRO. "Desarrollo de la técnica de lengua electrónica vol... <1%

64 Publicación
Marianella Zegarra, Ana Aguilar-Galvez, Rosana Chirinos, Diego García-Ríos, Mari... <1%

65 Publicación
Molina, Jose Miguel Giler. "Aplicacion de Procesos Oxidativos Avanzados Para la D... <1%

66 Publicación
Silvia C. Ramírez-Rodríguez, Hortensia Ortega-Ortiz, Susana González-Morales, Pa... <1%

67 Internet
dspace.ucuenca.edu.ec <1%

68 Internet
dspace.ups.edu.ec <1%

69 Internet
patrocipes.uson.mx <1%

70 Internet
ru.dgb.unam.mx <1%

71 Trabajos del estudiante
Escuela Superior Politécnica del Litoral <1%

72 Trabajos del estudiante
Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE <1%

73 Publicación
Ana Karina Carrera-Felipe, Sugey Vásquez-Hernández, María Teresa González-Arn... <1%

74 Publicación
J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Líne... <1%

75 Internet
es.weatherspark.com <1%

76 Trabajos del estudiante
espam <1%

77 Internet
repositorio.umsa.bo <1%

78 Internet
zaguan.unizar.es <1%

79 Publicación
Eshaghali Bayati, Masoud Gomarian, Hossein Mirzaie-Nodousha, Mehdi Changizi, ... <1%

80 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Abierta y a Distancia <1%

81 Internet
id.scribd.com <1%

82 Internet
www.clubensayos.com <1%

83 Publicación
"Identificación y caracterización de los mecanismos moleculares involucrados en ... <1%

84 Internet
cd.dgb.uanl.mx <1%

85 Internet
helvia.uco.es <1%

86 Internet
pesquisa.bvsalud.org <1%

87 Internet
vsip.info <1%

88 Publicación
Dora Valencia, Edgar Omar Rueda Puente, Mario Alberto Leyva Peralta, Sergio Ro... <1%

89 Trabajos del estudiante
Instituto Madrileno de Formacion <1%

90 Publicación
Livano Puma, Eulalia. "Comprensión de narraciones orales y desempeño en repet... <1%

91 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion <1%

92 Internet
americanae.aecid.es <1%

93 Internet
apirepositorio.unu.edu.pe <1%

94 Internet
centrosconacyt.mx <1%

95 Internet
inis.iaea.org <1%

96 Internet
revistasan.org.ar <1%

97 Internet
www.latamjpharm.org <1%

98 Internet
agrociencia-colpos.org <1%

99 Internet
doczz.es <1%

100 Internet
push-zb.helmholtz-muenchen.de <1%

101 Internet
up-rid.up.ac.pa <1%

102 Internet
www.avocadosource.com <1%

103 Internet
www.produccioncientificaluz.org <1%

104 Internet
www.redmexico.com.mx <1%

105 Internet
www.teses.usp.br <1%

106 Trabajos del estudiante
CONACYT <1%

107 Publicación
Mariana de Souza. "Efeitos fotônicos e de antibióticos sobre o cultivo hidropônico... <1%

108 Internet
alicia.concytec.gob.pe <1%

109 Internet
buscador.una.edu.ni <1%

110 Internet
documents.mx <1%

111 Internet
encyclopedia.pub <1%

112 Internet
eprints.ucm.es <1%

113 Internet
gredos.usal.es <1%

114 Internet
mail.ues.edu.sv <1%

115 Internet
maximokinast.blogia.com <1%

116 Internet
pdffox.com <1%

117 Internet
repositorio.udec.cl <1%

118 Internet
repositorio.unc.edu.pe <1%

119 Internet
repositorio.unh.edu.pe <1%

120 Internet
repositorio.unheval.edu.pe <1%

121 Internet
sedici.unlp.edu.ar <1%

122 Internet
tesis.ucsm.edu.pe <1%

123 Internet
www.atareq.net <1%

124 Internet
www.csn.es <1%

125 Internet
www.fao.org <1%

126 Internet
www.magiran.com <1%

127 Internet
www.wto.org <1%

128 Publicación
"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi... <1%

129 Publicación
Bartosz Kulczyński, Andrzej Sidor, Anna Gramza-Michałowska. " Antioxidant pote... <1%

130 Publicación
David J. Van Horn, Carleton S. White, Edward A. Martinez, Christina Hernandez et ... <1%

131 Publicación
Díaz, Celia Bravo. "La adquisición de las consonantes oclusivas en español por ha... <1%

132 Publicación
Han Sub Kwak, Misook Kim, Yoonhwa Jeong. "Developing water-extracted cacao-... <1%

133 Publicación
Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lentej... <1%

134 Publicación
Sugenith Margarita Arteaga Castillo. "Cultivos para el cambio climático: selección... <1%

135 Internet
acervodigital.ufpr.br <1%

136 Internet
addi.ehu.eus <1%

137 Internet
alfapublicaciones.com <1%

138	Internet	
biotecnia.unison.mx		<1%
139	Internet	
crisisresponse.iom.int		<1%
140	Internet	
doczz.com.br		<1%
141	Internet	
edoc.hu-berlin.de		<1%
142	Internet	
es.volsenchem.com		<1%
143	Internet	
fcarn.unillanos.edu.co		<1%
144	Internet	
idus.us.es		<1%
145	Internet	
remca.umet.edu.ec		<1%
146	Internet	
repositorio.cinvestav.mx		<1%
147	Internet	
repositorio.iniap.gob.ec		<1%
148	Internet	
repositorio.unasam.edu.pe		<1%
149	Internet	
repositorio.unjbg.edu.pe		<1%
150	Internet	
repositorio.unsaac.edu.pe		<1%
151	Internet	
servicios.laverdad.es		<1%

152 Trabajos del estudiante
urjc <1%

153 Internet
worldwidescience.org <1%

154 Publicación
D. M.A. Molina-Quijada, L. A. Medina-Juárez, G. A. González-Aguilar, R. M. Robles-S... <1%

155 Publicación
María Teresa Sebastiá Frasquet. "Pigmentos indicadores: caracterización de la co... <1%

156 Internet
moam.info <1%

157 Publicación
Sara González Orenga. "Mecanismos de tolerancia a estrés salino e hídrico en pla... <1%

158 Publicación
Zamyadi, A. "The value of in vivo monitoring and chlorination for the control of to... <1%

159 Internet
dokumen.pub <1%

160 Internet
www.camjol.info <1%

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 817-2025-CU

Moquegua, 20 de noviembre de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 4718-2025-R de fecha 14 de noviembre de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° D0479-2025-UNAM-R-SG de fecha 14 de noviembre de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° D0159-2025-SEGE-GT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 44-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 19 de noviembre de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8º de la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley Nº 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 24° y numeral 2 del artículo 26° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Informe Técnico N° D0159-2025-SEGE-GT de fecha 13 de noviembre de 2025, e Informe N° D0479-2025-UNAM-R-SG de fecha 14 de noviembre de 2025, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Ambiental de la Bachiller: MAMANI CONDORI NOEMI de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 19 de noviembre de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 860-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 44-2025-SE-CU-UNAM, de fecha 19 de noviembre de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: MAMANI CONDORI NOEMI, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua;

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 817-2025-CU

Moquegua, 20 de noviembre de 2025

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **MAMANI CONDORI NOEMI**

TESIS : "EVALUACIÓN DEL INCREMENTO DE POLIFENOLES, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, BIOMASA AÉREA Y RESIDUO DE ANTIBIÓTICO POR MEDIO DE LA HORMESIS CON CIPROFLOXACINO EN LECHUGA (Lactuca sativa) HIDROPÓNICA", cuyo Asesor Principal fue el Dr. Franz Zirena Vilca.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL.**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FAIN
EPIAM
QyT
DASA
OTI
Interesado
c.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe