

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA QUINUA (*Chenopodium
quinoa* Willd.) COMO ESPECIE FITORREMEDIASORA DE
SUELOS CONTAMINADOS CON CIPROFLOXACINO
EN PACOCHA – ILO, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUZ SATOMI CHURA LLANOS

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
Y DESARROLLO SOSTENIBLE

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA QUINUA (*Chenopodium
quinoa* Willd.) COMO ESPECIE FITORREMIADORA DE
SUELOS CONTAMINADOS CON CIPROFLOXACINO
EN PACOCHA –ILO, 2023

Tesis sustentada y aprobada el 10 de abril del 2025; estando el jurado calificador
integrado por:

PRESIDENTE


:
Dr. Nataaniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO


:
Dr. Tolomeo Raúl Soto Pérez

MIEMBRO


:
Dr. Franz Zircna Vilca

ASESOR


:
Dr. Franz Zircna Vilca

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Franz Zirena Vilca, en mi condición de asesor acreditado con Resolución de Escuela de Posgrado N° 12760-2023-ESPG/UNJBG del 26 de julio del 2023, del trabajo de tesis titulado: : "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) COMO ESPECIE FITORREMIADORA DE SUELOS CONTAMINADOS CON CIPROFLOXACINO EN PACOCHA – ILO, 2023", presentado por el Srta. Luz Satomi Chura Llanos, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 4%.

Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis y está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado a solicitud del interesado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias (*Magíster Scientiae*) con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Tacna, 28 de enero 2025

FIRMA ASESOR
Nombres y apellidos



.....
Dr. Franz Zirena Vilca
DNI N°



FIRMA TESISTA
Nombres y apellidos



.....
Luz Satomi Chura Llanos
DNI N° 75667152



DEDICATORIA

A mis padres, Samuel e Irma, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, por su amor incondicional y su apoyo incansable en cada etapa de este camino. A mi familia Brian y mi hija Denayt, mi mayor fuente de inspiración y alegría. Tu sonrisa da sentido a cada esfuerzo, y tu existencia me impulsa a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente al Dr. Franz Zirena Vilca, mi asesor, por su valiosa guía y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

Al laboratorio GICOA de la Universidad Nacional de Moquegua, por brindarme las facilidades necesarias para llevar a cabo este estudio, en el marco del proyecto “Presencia de residuos de antibióticos en el río Osmore, en agua potable de las ciudades de Ilo y Moquegua y su relación con la salud de la población”, aprobado mediante R.C.O. N° 310-2020-UNAM.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, en especial a la Escuela de Posgrado, por ser un pilar clave en mi formación académica y profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Identificación del problema	3
1.2. Formulación de los problemas	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia de la investigación	6
1.3.1. Justificación social.....	6
1.3.2. Justificación económica.....	7
1.3.3. Justificación ambiental	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Hipótesis	10
1.5.1. Hipótesis general.....	10
1.5.2. Hipótesis específicas.....	10
1.6. Variables	10
1.6.1. Identificación de variables	10
1.7. Identificación de la investigación	10
CAPÍTULO II.....	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del estudio	12
2.1.1. Nacionales.....	12
2.1.2. Internacionales	13
2.2. Teorías para la investigación	14
2.2.1. Aumento demográfico	14

2.2.2. Antibióticos.....	14
2.2.3. Presencia de antibióticos.....	16
2.2.3.4. <i>Antibióticos en aguas residuales</i>	18
2.2.4. Impactos de los antibióticos.....	19
2.2.5. Fitorremediación.....	22
2.2.6. Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Wild.)	25
CAPÍTULO III.....	33
MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1. Caracterización o tipo del diseño de investigación.....	33
3.2. Población y/o muestra de estudio	34
3.3. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto.....	35
3.4. Método analítico de Ciprofloxacina en suelo (antibiótico)	37
3.5. Método de extracción de Ciprofloxacina en biomasa aérea y radicular	37
3.6. Desarrollo y validación de análisis cremotográfico para de determinar Ciprofloxacina en biomasa aérea y radicular de la quinoa	38
3.7. Método para cuantificar y detectar polifenoles y capacidad antioxidante.....	40
3.8. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos	41
3.9. Materiales y/o instrumentos.....	43
CAPÍTULO IV	46
RESULTADOS	46
4.1. Presencia de Ciprofloxacina en el suelo	46
4.2. Presencia de Ciprofloxacina en biomasa aérea.....	48
4.3. Presencia de Ciprofloxacina en biomasa radicular	49
4.4. Capacidad de compuestos fenólicos totales (CFT) en quinoa	50
4.5 Capacidad antioxidante en quinoa DPPH.....	52
DISCUSIÓN	54
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Población del Continente de América	14
Tabla 2 Modelo estadístico	42
Tabla 3 Tabla de Análisis de Varianza	43
Tabla 4 Concentración de Ciprofloxacina en suelo	47
Tabla 5 Concentración de Ciprofloxacina en biomasa aérea de la quinua	48
Tabla 6 Concentración de Ciprofloxacina en biomasa radicular de la quinua	50
Tabla 7 Concentración de polifenoles totales en la quinua	51
Tabla 8 Concentración de capacidad antioxidante de la quinua	52
Tabla 9 Matriz de consistencia	75
Tabla 10 Efecto a las propiedades fisiológicas de la quinua	77
Tabla 11 Resultados del proceso de validación para bimesa aérea y radicular de quinua por UHPLC DAD	78
Tabla 12 Ajuste en el quipo para el método analítico de ciprofloxaciba en biomasa radicular y aéreo de quinua	79
Tabla 13 Programación de fase móvil en el cromatógrafo	79
Tabla 14 Determinación del límite de detección	79
Tabla 15 Determinación del límite de cuantificación	79
Tabla 16 Coeficiente de correlacion de curva de calibración	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructuras de los antibióticos	15
Figura 2 Formas de llegada de antibióticos en la agricultura	17
Figura 3 Antibióticos en la ganadería	18
Figura 4 Antibióticos en aguas residuales	19
Figura 5 Impacto del antibiótico en el microbiota	20
Figura 6 Efecto de los antibióticos a la hormesis	21
Figura 7 Proceso de fitorremediación	23
Figura 8 Raiz de la quinua	26
Figura 9 Tipos de tallo de la quinua	27
Figura 10 Tipos de hojas de la quinua	28
Figura 11 Inflorescencia de la quinua.....	29
Figura 12 Flores de la quinua	30
Figura 13 Fruto de la quinua.....	31
Figura 14 Semilla de la quinua	32
Figura 15 Mapa de ubicación del proyecto.....	35
Figura 16 Procedimiento del desarrollo del experimento	36
Figura 17 Concentración de Ciprofloxacina en biomasa aérea de la quinua.....	49
Figura 18 Concentración de polifenoles totales en la quinua	51
Figura 19 Concentración de capacidad antioxidante de la quinua.....	52
Figura 20 Homogenización de suelo contaminado con Ciprofloxacina	82
Figura 21 Pesado de suelo contaminado en el laboratorio de contaminantes orgánicos	83
Figura 22 Ubicación de los maceteros completamente al azar en el área del experimento	84
Figura 23 Control del experimento	85
Figura 24 Control de plagas y humedad del experimento	86
Figura 25 Control del desarrollo y crecimiento del experimento	87
Figura 26 Comparación del desarrollo de los tratamientos del experimento	88
Figura 27 Medición del diámetro del tallo de los experimentos.....	89
Figura 28 Pesado de la biomasa radicular	90
Figura 29 Pesado de biomasa aérea de la quinua.....	91

Figura 30 Preparación de las soluciones en el laboratorio.....	92
Figura 31 Centrifugación de las muestras aéreas en el laboratorio	93
Figura 32 Separación de la fase sólida de la muestra aérea de la quinua	94
Figura 33 Segunda centrifugación de la muestra de biomasa aérea	95
Figura 34 Pesado de la biomasa radicular en el laboratorio	96
Figura 35 Trituración de la biomasa radicular en el mortero	97
Figura 36 Adición de la solución a la biomasa radicular.....	98
Figura 37 Muestra de suelo del experimento.....	99
Figura 38 Muestra de suelo en el agitador	100
Figura 39 Muestras de biomasa aerea del experimento.....	101
Figura 40 Adición de una porción de biomasa aérea al equipo de balanza de humedad	102
Figura 41 Balanza de humedad.....	103
Figura 42 Pesado de biomasa aérea en la balanza	104
Figura 43 Agitador magnético	105
Figura 44 Medición de la temperatura de la solución.....	106
Figura 45 Centrifugación de las muestras de biomasa aérea.....	107
Figura 46 Filtración del extracto de la biomasa aérea	108
Figura 47 Agitación de los tubos eppendorf con las soluciones.....	109
Figura 48 Adición de las soluciones a las placas.....	110

RESUMEN

El uso extensivo de antibióticos como la Ciprofloxacina, comúnmente aplicado en actividades agrícolas y farmacéuticas, ha provocado su persistente acumulación en los suelos, lo que constituye un grave problema ambiental debido a su elevada resistencia a la biodegradación. Estos compuestos impactan negativamente la microbiota del suelo, disminuyen su fertilidad y alteran los procesos metabólicos de las plantas, ocasionando estrés oxidativo y la generación de especies reactivas de oxígeno. En este contexto, el presente trabajo tuvo como propósito evaluar la capacidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) para actuar como especie fitorremediadora en suelos contaminados con Ciprofloxacina en la región de Pacocha-Ilo. La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental completamente aleatorio con cuatro concentraciones de Ciprofloxacina (0, 1, 10 y 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y cinco repeticiones, utilizando suelos contaminados de forma controlada. Se llevaron a cabo análisis mediante cromatografía líquida de ultra alta presión (UHPLC) para cuantificar el antibiótico en la biomasa aérea y radicular, y también se evaluaron parámetros de capacidad antioxidante y polifenoles totales. Los resultados muestran que el suelo posee una elevada capacidad de adsorción de Ciprofloxacina, con tasas de retención superiores al 96 %. Asimismo, la quinua demuestra ser eficaz en la acumulación del antibiótico en sus tejidos, principalmente en la biomasa aérea. Estos resultados resaltan el potencial de la quinua como una solución eficiente, económica y sostenible para la remediación de suelos contaminados con antibióticos.

Palabras clave: Ciprofloxacina, Capacidad antioxidante, polifenoles totales, estrés oxidativo, UHPLC.

ABSTRACT

The extensive use of antibiotics such as Ciprofloxacin, commonly applied in agricultural and pharmaceutical activities, has led to its persistent accumulation in soils, posing a serious environmental problem due to its high resistance to biodegradation. These compounds negatively affect soil microbiota, reduce fertility, and disrupt plant metabolic processes, causing oxidative stress and generating reactive oxygen species. In this context, the present study aimed to evaluate the capacity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to act as a phytoremediation species in soils contaminated with Ciprofloxacin in the Pacocha-Ilo region. The research used a completely randomised experimental design with four Ciprofloxacin concentrations (0, 1, 10, and 100 µg/L) and five replicates, utilising controlled contaminated soils. Analyses were carried out using ultra-high-pressure liquid chromatography (UHPLC) to quantify the antibiotic in aerial and root biomass, and antioxidant capacity and total polyphenols parameters were also assessed. The results show that the soil has a high Ciprofloxacin adsorption capacity, with retention rates exceeding 96 %. Moreover, quinoa effectively accumulate the antibiotic in its tissues, primarily in the aerial biomass. These findings highlight quinoa's potential as an efficient, cost-effective, and sustainable solution for the remediation of soils contaminated with antibiotics.

Keywords: Ciprofloxacin, Antioxidant capacity, Total polyphenols, Oxidative stress, UHPLC.

INTRODUCCIÓN

La fitorremediación ha emergido como una estrategia prometedora para la recuperación de suelos contaminados, especialmente en contextos donde la contaminación por compuestos farmacéuticos, como el ciprofloxacino, se ha vuelto prevalente. Este enfoque utiliza plantas para absorber, acumular y detoxificar contaminantes del suelo, ofreciendo una alternativa sostenible frente a métodos más invasivos y costosos, como la excavación o la incineración. En particular, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ha demostrado ser una especie con un notable potencial para este tipo de aplicaciones, gracias a su adaptabilidad y resistencia a condiciones adversas (Chan-Quijano et al., 2021).

La contaminación del suelo por productos farmacéuticos, específicamente antibióticos como el ciprofloxacino, representa un desafío significativo para la salud ambiental y la seguridad alimentaria. Estos compuestos pueden alterar la microbiota del suelo, afectar la biodiversidad y, en última instancia, comprometer la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. La investigación ha mostrado que la fitorremediación puede ser efectiva en la reducción de la toxicidad de estos contaminantes, permitiendo que las plantas no solo absorban, sino que también metabolizan y transforman estos compuestos en formas menos dañinas (Hernández & Hernández, 2022). En este sentido, la quinua se destaca por su capacidad de tolerar y acumular metales pesados y otros contaminantes, lo que la convierte en un candidato ideal para estudios de fitorremediación en suelos contaminados (Chan-Quijano et al., 2021).

Además, la eficiencia de la fitorremediación puede verse influenciada por factores como la composición del suelo, la disponibilidad de nutrientes y las condiciones climáticas. Por ejemplo, la interacción entre la biodiversidad del suelo y la calidad del carbono orgánico es crucial para el éxito de estas técnicas (Hernández & Hernández, 2022). La quinua, al ser una planta que puede crecer en suelos con baja fertilidad y alta salinidad, se adapta bien a condiciones adversas, lo que la hace especialmente valiosa en áreas afectadas por la contaminación (Chan-Quijano et al., 2021). Esto sugiere que la

implementación de prácticas de manejo sostenible del suelo, que incluyan la fitorremediación, puede contribuir a la restauración de suelos degradados y a la mejora de la calidad del ecosistema (Hernández & Hernández, 2022).

En ese sentido, los estudios sobre la fitorremediación han demostrado que el uso de especies nativas, como la quinua, no solo mejora la recuperación del suelo, sino que también promueve la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema. La capacidad de la quinua para acumular contaminantes en sus tejidos puede ser aprovechada para diseñar estrategias de remediación más efectivas, que integren la producción agrícola con la restauración ambiental (Chan-Quijano et al., 2021). Esto es particularmente relevante en regiones donde la agricultura es una fuente vital de sustento, y donde la contaminación del suelo puede amenazar la producción alimentaria y la salud pública (Chan-Quijano et al., 2021).

En conclusión, la fitorremediación con quinua representa una solución viable y sostenible para la recuperación de suelos contaminados con ciprofloxacino. Este enfoque no solo aborda la contaminación del suelo, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola y la salud del ecosistema. La investigación futura debería centrarse en optimizar las condiciones de crecimiento de la quinua en suelos contaminados y en evaluar su efectividad a largo plazo en la remediación de suelos afectados por compuestos farmacéuticos (Hernández & Hernández, 2022). La integración de la fitorremediación en las prácticas de manejo del suelo podría ofrecer un camino hacia la restauración de la salud del suelo y la sostenibilidad ambiental (Hernández & Hernández, 2022).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Con el aumento demográfico, los antibióticos tienden a ser más utilizados en diferentes actividades como: la preservación de alimentos, procesamiento agrícola, productos farmacéuticos para enfermedades e infecciones; por lo que, su consumo se incrementa y cuyos residuos causan daño ambiental (Zheng et al., 2021). Por otro lado, varios estudios han demostrado que uso sub terapéutico en animales ocasiona a que estos compuestos sean expulsados mediante la orina y heces, terminando en el suelo y muchas veces, estos excrementos contaminados son utilizados por los agricultores como una fuente de abono para las plantas (Chang et al., 2023). Por otro lado, los antibióticos presentan una gran fortaleza a la descomposición biológica, esto se debe a sus propiedades estructurales complejas (Akash et al., 2022). Un claro ejemplo es la Ciprofloxacina, que es un antibiótico con mayor utilización farmacéutica (Akash et al., 2022). En el caso de los seres humanos, los antibióticos también son expulsados mediante la orina y residuos fecales, las cuales terminan en el alcantarillado y posteriormente en una planta de tratamiento de aguas residuales (Leonard et al., 2023). Por ende, el uso de estos compuestos se está convirtiendo en un grave problema (Tian et al., 2021).

Por otro lado, a nivel mundial, existe una gran demanda de servicios básicos, esto se debe a que las aguas residuales y excretas no reciben un tratamiento adecuado antes de sus vertimientos y por ende causan riesgos a la salud y al ambiente (Masoud et al., 2022). Por otro lado, las plantas de tratamiento de aguas residuales, son los principales acogedores de antibióticos, las cuales provienen de actividades antropogénicas en las áreas urbanas y rurales (Sun et al., 2022), causando graves daños al ambiente y facilitando su ingreso a la cadena alimentaria (Wang et al., 2023). Los antibióticos en las plantas de tratamiento de agua residual, tienden a ingresar mediante las descargas a diferentes entornos ecosistémicos después de pasar por las instalaciones de proceso y tratamiento (Sun et al., 2022). Por lo tanto, cada vez que ingresan estos compuestos a los ecosistemas acuáticos, las bacterias tienen a ser más resistentes, esto se debe a que las plantas de tratamiento de aguas residuales, no tienen efectividad a eliminar estos compuestos (Sun

et al., 2022). En los últimos años, los métodos tradicionales como: lodos activados o el método de biopelícula empleados en las plantas de tratamientos de aguas residuales, no muestran efectividad para la eliminación eficaz de estos compuestos (Dai et al., 2022). Por otro lado, existen métodos químicos que usan el proceso de oxidación avanzada para la eliminación de los antibióticos; pero, este método, tiene grandes desventajas como la generación de oxidantes tóxicos, que posteriormente pueden afectar al suelo mediante la expulsión de efluentes del agua residual tratada contaminada (Nguyen et al., 2022).

La agricultura en su gran mayoría se caracteriza por el uso de grandes proporciones de insumos y productos que contienen antibióticos para tener un excelente rendimiento, pero esto influye a tener una baja calidad química, física y biológica del suelo (Bonanomi et al., 2020). En tal sentido, los antibióticos, son considerados contaminantes incipientes, esto se debe a su uso común; los cuales, una vez suministrados a los seres vivos, son desechado al ambiente mediante orinas y heces (Fiaz et al., 2023a), pudiendo alcanzar el suelo, en donde la disponibilidad y presencia de estos fármacos en este ecosistema, generan un impacto negativo, ya que estos afectan negativamente a la actividad microbiana y a la estructura del microbiota (Fiaz et al., 2023a). Sin embargo, se ha podido evidenciar efectos positivos y negativos en plantas; dentro de los efectos positivos esta la hormesis, esta se da cuando hay bajas concentraciones en el ambiente; pero si los antibióticos se encuentran en altas concentraciones, tiene como resultado efectos tóxicos (Marques et al., 2021). Los primeros síntomas en plantas, se reflejan en el cambio de color de los órganos fotosintéticos; por lo que, la clorofila se convierte en un parámetro de gran importancia en la evaluación de concentración de antibióticos en el aparato fotosintético (Marques et al., 2021). Por otro lado, los efectos de los antibióticos en la síntesis de la clorofila, se da cuando los antibióticos ingresan al cloroplasto mediante un transportador de hierro, el cual se encuentra implicado en la homeostasis celular del hierro y de esta manera consciente la entrada de diferentes antibióticos al cloroplasto, una vez dentro del cloroplasto, tienden a generar un efecto negativo al funcionamiento en la etapa de biosíntesis de la clorofila, y es aquí donde la biosíntesis de clorofila se da mediante dieciséis reacciones catalizadas por dieciséis enzimas que se encuentran codificadas por más de veinte genes (Krupka et al., 2022). Otro de los efectos negativos

de los antibióticos en las plantas, es en su metabolismo y posteriormente al desarrollo y crecimiento (Chung et al., 2017).

Debido a la presencia constante de residuos de antibióticos en el suelo, la fitorremediación, surge como una tecnología que tiene resultados positivos y efectivos a bajo costos para la remoción de antibióticos (Yan et al., 2020). Esto se basa en la capacidad que tienen las plantas de absorber los contaminantes y almacenarlos dentro de sus tejidos. En ese mismo sentido, los antibióticos son movilizados mediante las corrientes de transpiración desde las raíces hasta las hojas; es así que, mediante el proceso de transpiración, los antibióticos pueden biodegradarse o biotransformarse, de esta manera crear otros sub productos. Del mismo modo, los microorganismos que se encuentran asociados a la participación del deterioro de los contaminantes orgánicos, cumplen un papel de gran importancia en la eliminación de antibióticos del suelo. Las especies vegetales y sus microorganismos tienden a filtrar, acumular, eliminar, metabolizar, degradar, absorber los compuestos orgánicos (Shah et al., 2022). Por otro lado, ha sido evidenciado que las enzimas que se ubican en los microorganismos tienden a biodegradar de manera intracelular a la Ciprofloxacina (Shah et al., 2022). También, la Ciprofloxacina tiene un efecto en las plantas, causando una sobreexcitación de clorofila y la creación de especies reactivas de oxígeno, esto se debe a que una de las funciones de la clorofila es proveer electrones para la cadena de transporte de electrones fotosintéticos (Shah et al., 2022). Es por todo ello que, se evaluó la capacidad fitorremediadora de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), en suelos contaminados con Ciprofloxacina.

1.2. Formulación de los problemas

1.2.1. Problema general

¿Cómo es la eficiencia de fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina con la especie quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Pacocha-Ilo, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) disminuye la concentración de Ciprofloxacina en el suelo?

2. ¿Cómo la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como especie fitorremediadora, incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea?
3. ¿Cómo la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como especie fitorremediadora, aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular?
4. ¿La presencia de Ciprofloxacina en la quinua cultivada en suelo contaminado, tiene un incremento en los niveles de estrés (polifenoles) en planta?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. Justificación social

El uso intensivo de antibióticos en actividades humanas, agrícolas y veterinarias ha generado un impacto significativo en el ambiente, particularmente en los suelos, los cuales están siendo cada vez más afectados por residuos de estos compuestos. Este problema se agrava debido a que los antibióticos, al ser considerados contaminantes emergentes, afectan la calidad de los recursos naturales esenciales como el suelo y el agua, comprometiendo la salud de las comunidades humanas y los ecosistemas que dependen de ellos.

En el ámbito social, la presencia de residuos de antibióticos en el ambiente puede tener consecuencias graves, como el aumento de la resistencia bacteriana, un fenómeno que representa una amenaza directa para la salud pública mundial. Además, en zonas rurales donde la actividad agrícola es predominante, la utilización de fertilizantes contaminados con residuos de antibióticos puede repercutir negativamente en la calidad de los cultivos, generando riesgos para la seguridad alimentaria y la economía de las familias que dependen de estas actividades.

La investigación propuesta, que evalúa la eficiencia de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como especie fitorremediadora de suelos contaminados con Ciprofloxacina, tiene un alto impacto social al proponer una solución sostenible, accesible y de bajo costo para mitigar este tipo de contaminación. El uso de una planta tradicional y culturalmente significativa como la quinua no solo contribuye a la remediación

ambiental, sino que también promueve su valor como herramienta para el desarrollo sostenible de las comunidades locales.

Este estudio tiene el potencial de generar beneficios sociales tangibles, como la protección de la salud humana, la mejora de la calidad ambiental, y la promoción de prácticas agrícolas responsables. Además, fomenta la transferencia de conocimientos y tecnologías que pueden ser adoptadas por comunidades rurales para gestionar de manera efectiva los problemas de contaminación de suelos. Por lo tanto, la investigación no solo contribuye al avance científico, sino que también refuerza el bienestar social y la conservación de los recursos naturales esenciales para las generaciones futuras.

1.3.2. Justificación económica

La contaminación de suelos por residuos de antibióticos, como la Ciprofloxacina, representa un problema ambiental que impacta directamente en las actividades económicas relacionadas con el uso del suelo, especialmente en el sector agrícola. Este tipo de contaminación reduce la calidad del suelo, afectando su fertilidad y, por ende, la productividad de los cultivos, lo cual genera pérdidas económicas significativas para los agricultores y pone en riesgo la sostenibilidad de sus medios de vida.

Asimismo, la persistencia de antibióticos en el ambiente incrementa los costos asociados a la gestión de recursos naturales, como el tratamiento de aguas residuales y la remediación de suelos contaminados mediante tecnologías convencionales. Estas opciones suelen requerir inversiones elevadas en infraestructura y operación, las cuales no siempre están al alcance de las comunidades rurales o de los gobiernos locales.

En este contexto, la investigación propuesta tiene un fundamento económico sólido, al evaluar la capacidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como especie fitorremediadora de suelos contaminados. La fitorremediación es una técnica de bajo costo en comparación con los métodos tradicionales de remediación, ya que utiliza plantas para absorber, degradar o inmovilizar contaminantes en el suelo, eliminando la necesidad de tecnologías complejas y costosas.

El uso de la quinua como herramienta de remediación no solo reduce los costos directos asociados al tratamiento de suelos contaminados, sino que también puede generar

un valor agregado al permitir que los terrenos afectados recuperen su capacidad productiva. Esto tiene el potencial de reactivar actividades agrícolas en áreas previamente inutilizables, incrementando la productividad y generando ingresos para las comunidades locales.

Además, la implementación de esta tecnología fomenta un enfoque económico sostenible, ya que promueve el uso de recursos biológicos disponibles a nivel local, disminuye la dependencia de insumos externos y contribuye al desarrollo de prácticas agrícolas responsables. De esta manera, el estudio no solo aporta soluciones al problema de la contaminación del suelo, sino que también impulsa el desarrollo económico sostenible de las comunidades involucradas, generando un impacto positivo en su calidad de vida y bienestar económico.

1.3.3. Justificación ambiental

La contaminación de suelos por residuos de antibióticos, como la Ciprofloxacina, constituye un problema ambiental significativo debido a la persistencia de estos compuestos en los ecosistemas. Los antibióticos son considerados contaminantes emergentes que, debido a sus propiedades químicas y biológicas, presentan alta resistencia a la degradación natural, acumulándose en el ambiente y afectando negativamente la calidad del suelo, la biodiversidad microbiana y los ecosistemas acuáticos.

Uno de los impactos más preocupantes es la alteración de la microbiota del suelo, esencial para los procesos de fertilidad y equilibrio ecológico. La exposición prolongada a estos compuestos puede reducir la actividad microbiana, limitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y alterar el funcionamiento de los ecosistemas. Además, la presencia de antibióticos en el suelo facilita la proliferación de bacterias resistentes, lo que representa un riesgo no solo para los ecosistemas, sino también para la salud humana y animal.

En este contexto, la investigación que propone evaluar la eficiencia de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como especie fitorremediadora de suelos contaminados con Ciprofloxacina responde a la necesidad urgente de desarrollar soluciones ambientales

sostenibles. La fitorremediación, como técnica basada en el uso de plantas, ofrece una alternativa ecológica y eficiente para la eliminación de contaminantes, permitiendo no solo la recuperación de suelos degradados, sino también la protección de los ecosistemas circundantes.

El uso de la quinua, una planta con alto valor cultural y ecológico, refuerza el compromiso con la conservación de la biodiversidad y la mitigación de los impactos ambientales. Al absorber y degradar los residuos de antibióticos presentes en el suelo, esta planta contribuye a restaurar la calidad del suelo, fomentar la regeneración de la microbiota y evitar la propagación de contaminantes hacia otros ecosistemas, como cuerpos de agua cercanos.

Por lo tanto, la investigación tiene un alto valor ambiental al abordar de manera directa la problemática de los contaminantes emergentes, promoviendo el equilibrio ecológico y la sostenibilidad. Este enfoque no solo favorece la recuperación de los recursos naturales afectados, sino que también establece un modelo replicable de manejo ambiental responsable que puede ser aplicado en otras regiones con problemas similares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina con la especie quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en Pacocha-Ilo, 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evidenciar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora disminuye la concentración de Ciprofloxacina en el suelo.
2. Demostrar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea.
3. Demostrar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular.
4. Analizar si la quinua cultivada en suelo contaminado con Ciprofloxacina, incrementa los niveles de estrés (polifenoles) en planta.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina es eficiente con la especie quinua en Pacocha-Ilo.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. El uso de la quinua tiene efecto positivo a la disminución a la concentración de Ciprofloxacina en el suelo.
2. El uso de la quinua incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea.
3. El uso de la quinua aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular.
4. La quinua cultivada en suelo contaminado con Ciprofloxacina, incrementa los niveles de estrés (polifenoles) en planta.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de variables

Variable independiente

- Concentración del antibiótico Ciprofloxacina en el suelo

Variables dependientes

- Contenido de Ciprofloxacina en suelo
- Contenido de Ciprofloxacina en biomasa aérea
- Contenido de Ciprofloxacina en biomasa radicular
- Contenido de compuestos fenólicos en la quinua }

1.7. Identificación de la investigación

Durante la ejecución de la presente investigación se identificaron limitaciones técnicas que impactaron en el cumplimiento de los objetivos relacionados con la extracción y cuantificación de ciprofloxacina en las matrices de estudio (biomasa

aérea, biomasa radicular de *Chenopodium quinoa* Willd. y suelo contaminado). Estas limitaciones se describen a continuación:

Validación de la metodología de extracción de ciprofloxacina

La metodología inicial propuesta para la extracción de ciprofloxacina en la biomasa aérea, radicular y en el suelo presentó inconsistencias y no permitió obtener resultados exitosos ni reproducibles. Este inconveniente técnico evidenció la necesidad de ajustes significativos en los protocolos analíticos, especialmente en los procedimientos de extracción, purificación y cuantificación del compuesto objetivo. La falta de validación previa y las limitaciones inherentes a las técnicas disponibles supusieron una restricción significativa en el avance de las actividades experimentales.

Falta de insumos para la implementación de metodologías alternativas

Ante la necesidad de modificar la metodología inicial, se plantearon nuevas estrategias analíticas que requerían el uso de reactivos. Sin embargo, la falta de disponibilidad oportuna de estos insumos en el laboratorio dificultó la implementación de dichas metodologías alternativas. Esta situación limitó la posibilidad de realizar ensayos adicionales para optimizar los procedimientos y garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Nacionales

Maldonado et al., (2023) Realizaron un estudio “Removal of tetracycline and chloramphenicol through constructed wetlands: Roles of plants, substrates, and microbial fuel cells”, de la presencia de antibióticos (Tetraciclina y Cloranfenicol) en aguas residuales. También, analizaron la capacidad de humedales construidos en la eliminación de antibióticos. En el cual desarrollaron un diseño factorial con ocho combinaciones por triplicado. Para la medición de presencia de antibióticos en las plantas utilizaron la matriz de diodos de cromatografía líquida de alta resolución. Los resultados mostrados fueron que los humedales actuaron de manera eficiente, eliminando un máximo 100 % de los antibióticos estudiados y un mínimo de 99,45 % y 97,84 %.

Ramos et al., (2023) Utilizaron el agua contaminada con antibióticos para que tenga un efecto al crecimiento y la producción de metabolitos en los cultivos. El antibiótico que utilizaron fue la Ciprofloxacina en agua de riego. Para ello, sembraron semillas de quinua y regaron dos veces por semana con diferentes concentraciones de Ciprofloxacina (1, 10 y 100 µg/g). terminando la parte experimental, dividieron la planta en hojas, raíces panículas y granos; posteriormente a ello, midieron las características morfológicas y propiedades antioxidantes. Concluyeron que, en condiciones de control de Ciprofloxacina, mejoraba la producción de polifenoles sin tener un efecto negativo al crecimiento de la planta, por ende, también informaron que el Ciprofloxacina promueve la actividad enzimática y de esta manera produce polifenoles.

Maldonado et al., (2022) Analizaron la información de la eficiencia de la lenteja de agua (*Lemna* sp.) y helecho acuático (*Azolla* sp.) para eliminar residuos farmacéuticos en agua. En la cual pudieron concluir que estas especies mencionadas son fisiológicamente eficientes para la eliminación de antibióticos, también este tipo de fitorremediación implica una tecnología limpia y sostenible. Por otro lado, concluyeron que estas especies son tolerantes, por ende, los antibióticos son almacenados en sus tejidos

a pesar de sus efectos tóxicos. Por ende, recomiendan a estas especies en condiciones reales para la remoción de los fármacos y antibióticos.

2.1.2. Internacionales

Guo et al., (2020) Estudiaron el potencial de *Myriophyllum aquaticum* como especie fitorremediadora a largo plazo en aguas residuales con presencia de antibiótico tetraciclina. En ese estudio construyeron 7 microcosmos hidropónicos, en mencionados microcosmos agregaron tetraciclina, clotetraciclina a una concentración de 300-3000 µg/L y fueron utilizados por 12 semanas. La eliminación del antibiótico tetraciclina en los microcosmos hidropónicos se dieron de la siguiente manera: los análisis demostraron que la gran cantidad de antibiótico de tetraciclina se acumuló en la biomasa radicular, en el caso de la biomasa aérea no hubo concentración de antibióticos.

E. Cui et al., (2021) Mostraron que *lolium multiflorum* y *brassica juncea* tienen un potencial para la fitorremediación de metales pesados y antibióticos. También indicaron que el monocultivo tuvo resultados insignificantes sobre los metales pesados. Pero, en los antibióticos logro reducir de 24,6 % y 94,88 %, en el caso de la resistencia de antibióticos aumentó 33,82 %. en el caso del cultivo intercalado tuvieron mejores resultados a la recuperación del suelo y la presencia de *L. multiflorum* generó un aumento en la recuperación de antibióticos en un 2,83 % y 5,40 %. En tal sentido concluyeron que hubo mayor eficiencia en cultivos intercalados en la eliminación del antibiótico.

Chen et al., (2023) Consideran que la fitorremediación es una tecnología idónea para la remediación de cuerpos de agua con presencia de antibióticos. Por otro lado, la investigación se basó en el potencial de las especies vegetales de los humedales en la fitorremediación de antibióticos fluoroquinolonas. Los resultados indicaron un 46-69 % de remediación de este antibiótico y la degradación de los microorganismos de la rizosfera en un 90-93 % tuvo una dominación de la exclusión de fluoroquinolonas sobre la absorción de plantas. En ese mismo sentido, la presencia y distribución de fluoroquinolonas en los tejidos de las plantas disminuyeron en la raíz, por ende, este antibiótico se encuentra concentrado en los tejidos aéreos.

2.2. Teorías para la investigación

2.2.1. Aumento demográfico

El crecimiento poblacional ha ido en ascenso; pero, desde el inicio de la pandemia la población ha disminuido. El último censo indica que la actualmente existe una población de 7 mil 794 millones; por ende, en el 2050 será un aproximado de 9 mil 735 millones. Por otro lado, en Asia se encuentran las dos naciones con mayor población a nivel mundial: la República Popular de China, con 1,439 millones de habitantes, y la India, que cuenta con una población equivalente de 1,439 millones de personas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020).

En el continente americano, Perú ocupó el séptimo lugar como país más poblado en el año 2020, registrando 32 millones 626 mil habitantes. En contraste, Estados Unidos se posicionó en el primer lugar con una población de 331 millones de personas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020).

Tabla 1

Población del Continente de América

Puesto	País	Población
1	EE.UU.	331 003
2	Brasil	212 559
3	México	128 933
4	Colombia	50 883
5	Argentina	45 196
6	Canadá	37 742
7	Perú	32 626
8	Venezuela	28 436

Nota: Tomado de Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020), United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).

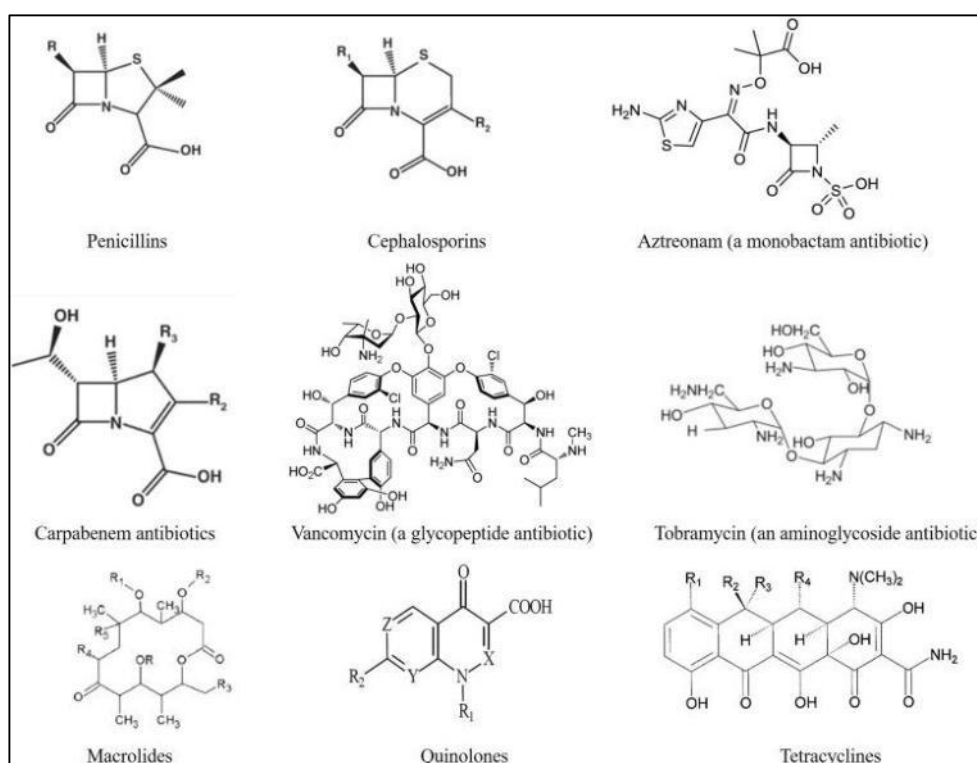
2.2.2. Antibióticos

La terminología de antibiótico es usualmente usada para denominar a una gran variedad de compuestos naturales, sintéticos y semisintéticos, que exhiben actividad antibacteriana. Los grupos principales de antibióticos son los siguientes: tetraciclinas, penicilinas, macrólidos sulfonamidas, anfenicoles y quinolonas. Todos estos compuestos

durante muchos años han sido utilizados en diferentes actividades antropogénicas (Peris-Vicente et al., 2022).

Figura 1

Estructuras de los antibióticos



Nota: Tomado de Peris-Vicente et al. (2022)

2.2.2.1. Quinolonas

El grupo de las quinolonas, son antibióticos sintéticos, estas son utilizadas en los tratamientos del ganado y en la actividad de acuicultura. También, son parte de agentes quimioterapéuticos y no se producen por microorganismos. Estos se conducen de una molécula básica conformada por una estructura de anillo doble que presencia un residuo N en la ubicación 1. En ese mismo sentido, se presenta diferentes situaciones, entre ellas está la incorporación de residuos de flúor, las cuales han derivado del ácido nalidixico a las quinolonas fluoradas, por otro lado, las quinolonas son antibióticos bactericidas, estas actúan impidiendo la ADN-girasa, por la cual una enzima que cataliza el enrollamiento del ADN cromosómico, por ende, asegura una división adecuada de la célula (Peris-Vicente et al., 2022).

La clasificación de quinolonas se da mediante generaciones. La primera generación de las quinolonas (ácido nalidixico y ácido pipemidico) actúan sobre enterobacterias y son inactivas. La segunda generación (norfloxacino y ciprofloxacina) son denominados fluorados, esto se debe a su incorporación al átomo de flúor y presentan una actividad de gran magnitud sobre los gramnegativos. La tercera generación (levofloxacina, gatifloxacina) presenta una actividad en gramnegativos y ayuda de manera positiva a la actividad en grampositivos. La cuarta generación (moxifloxacino, trovafloxacino) detiene la actividad sobre gramnegativo y genera un aumento en la actividad sobre grampositivo (Peris-Vicente et al., 2022).

2.2.2.2. Ciprofloxacina

La Ciprofloxacina pertenece al grupo de las fluoroquinolonas. Este antibiótico es utilizado para combatir las infecciones tanto en los seres humanos y animales, se mostraron que más de 7500000 recetas contienen Ciprofloxacina, la cual es utilizada para terapias en Estados Unidos y 4882 toneladas de este antibiótico es usado en la ganadería en 2013 en China. Por otro lado, este antibiótico no llega a metabolizarse en su totalidad. Por ende, es excretado mediante la orina y heces (Pu et al., 2020). En ese mismo sentido, las heces tienen uso como fertilizante. Por tal motivo, se presencia residuos de antibióticos en el suelo. La Ciprofloxacina es un antibiótico de difícil degradación y más en el suelo. Su alta presencia en el suelo se debe a que tiene facilidad de acumularse en el proceso de fertilización (Liu et al., 2018).

2.2.3. Presencia de antibióticos

2.2.3.1. Antibióticos en alimentos

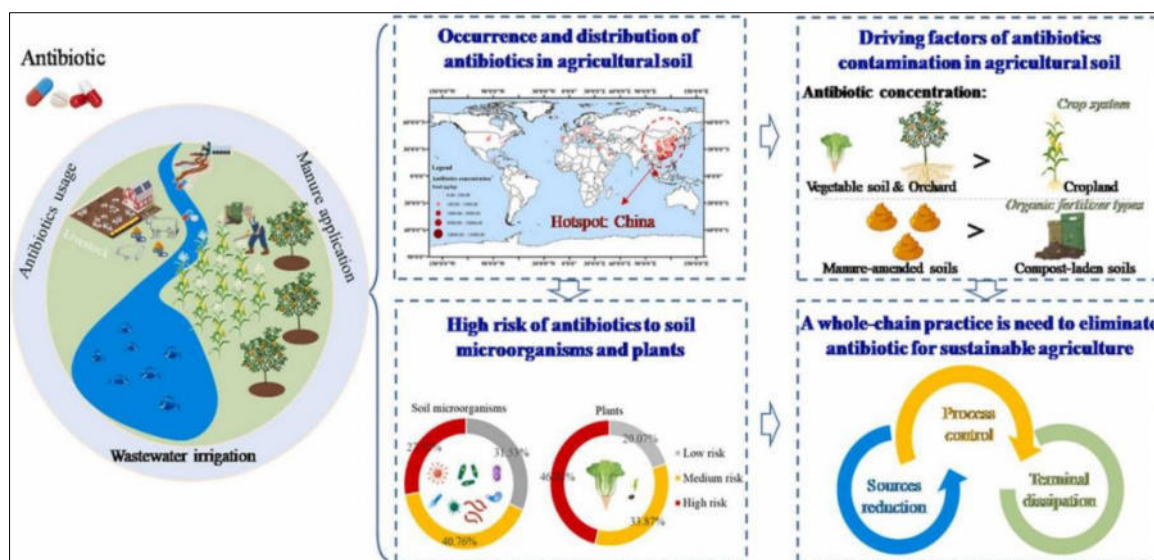
El uso generalizado e indiscriminado ha generado lugar a la presencia de residuos de antibióticos en los tejidos comestibles. Por otro lado, la exposición de estos compuestos de antibióticos en bajas concentraciones tendrá un efecto a la salud de las personas (trastornos, debilitación de la flora intestinal, alergias, mutagénesis, tetragenesis), todos estos problemas podrían causar generando graves problemas a la salud pública y de esa misma manera, aumenta el costo de atención en un centro médico (Peris-Vicente et al., 2022).

2.2.3.2. Antibióticos en la agricultura

Desde 1950 el uso de antibióticos se utilizó con más frecuencia por su eficiencia en las enfermedades bacterianas que tienen un efecto negativo a la producción de frutas y verduras. Por otro lado, se identificó cepas resistentes la cual ha generado una preocupación. Esto se debe a que un grupo de genes (estreptomicina) en bacterias que se ubican en el suelo, animales y humanos. En tal sentido, el sistema endofítico de las plantas es susceptible a residuos de antibióticos. Otro problema que causa los antibióticos a las plantas es que estos exponen fitotoxicidad y por ende, impiden la germinación de semillas, el crecimiento de las plantas, reducción de biomasa aérea y radicular (Browne et al., 2023). Por otro lado, otra vía de llegada de los antibióticos se da mediante el riego de aguas residuales y el abono (estiércol), la cual traería efectos negativos a las plantas y microorganismos del sustrato (Fang et al., 2023) .

Figura 2

Formas de llegada de antibióticos en la agricultura



Nota: Tomado de Fang et al. (2023)

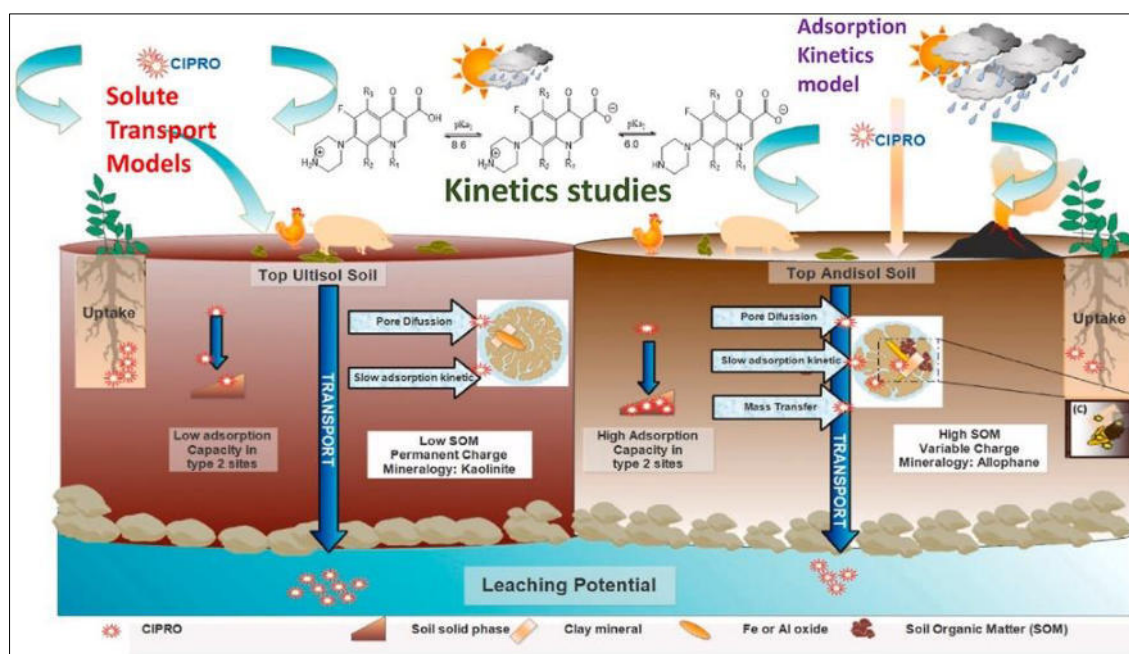
2.2.3.3. Antibióticos en la ganadería

El uso de antibióticos en la ganadería se da a gran escala en crías, y es una preocupación ya que estos no tienen fines terapéuticos, sino son usados como fines de crecimiento y mejoras de capacidad productivas. Por otro lado, los antibióticos generan

protección contra los patógenos y genera una mejora positiva en la digestión y metabolismo (Browne et al., 2023). Recientes investigaciones demostraron que los fabricantes de alimentos para los animales contienen antibióticos; en tal sentido, el 50 % de antibióticos producidos a nivel mundial lo encontramos en los animales. Los efectos negativos que traería estos antibióticos son el estrés, la pérdida de peso en la etapa de lactancia, reducción de producción, entre otros (Ghimpețeanu et al., 2022).

Figura 3

Antibióticos en la ganadería



Nota: Tomado de Canales et al. (2023)

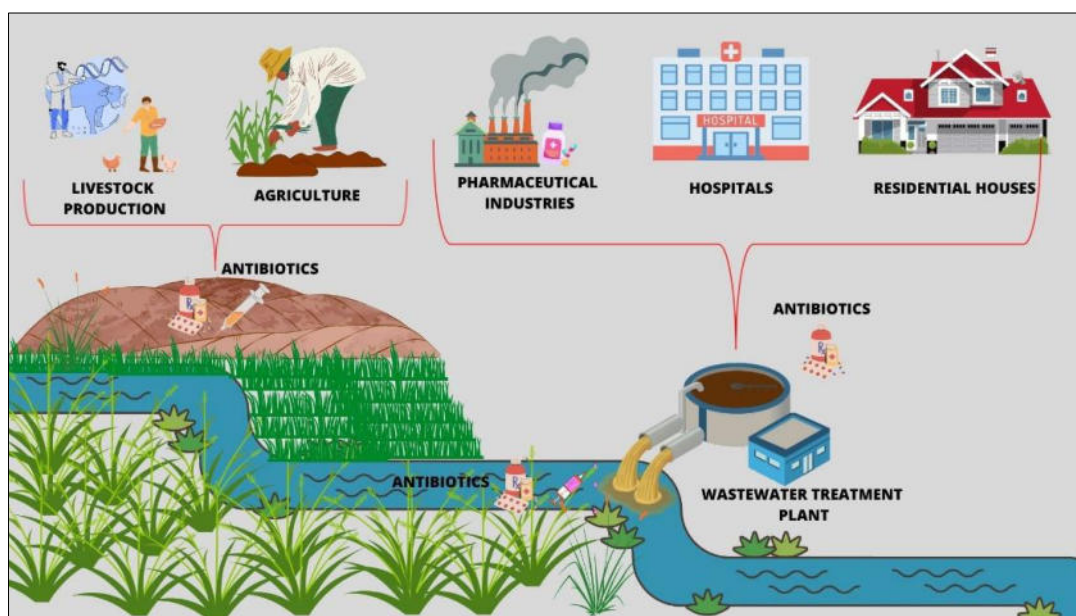
2.2.3.4. Antibióticos en aguas residuales

El uso de antibióticos se incrementó a gran escala y principalmente en países desarrollados, la cual genera una gran preocupación (Leng et al., 2020). Esto se debe a que los antibióticos terminan en las aguas residuales, y estos no pueden degradarse con facilidad en los diferentes métodos de degradación. Uno de los problemas de la presencia de antibióticos en aguas residuales que desarrollan resistencia bacteriana. Por ende, estas bacterias resistentes son difíciles de tratar (Shurbaji et al., 2021). En ese mismo sentido, las aguas residuales terminan en aguas naturales, causando un problema al entorno ambiental y social (Calcio Gaudino et al., 2021). En tal sentido

las plantas de tratamiento de aguas residuales son de gran importancia por la liberación de antibióticos al ambiente (Leng et al., 2020).

Figura 4

Antibióticos en aguas residuales



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra las fuentes de generación de antibióticos.

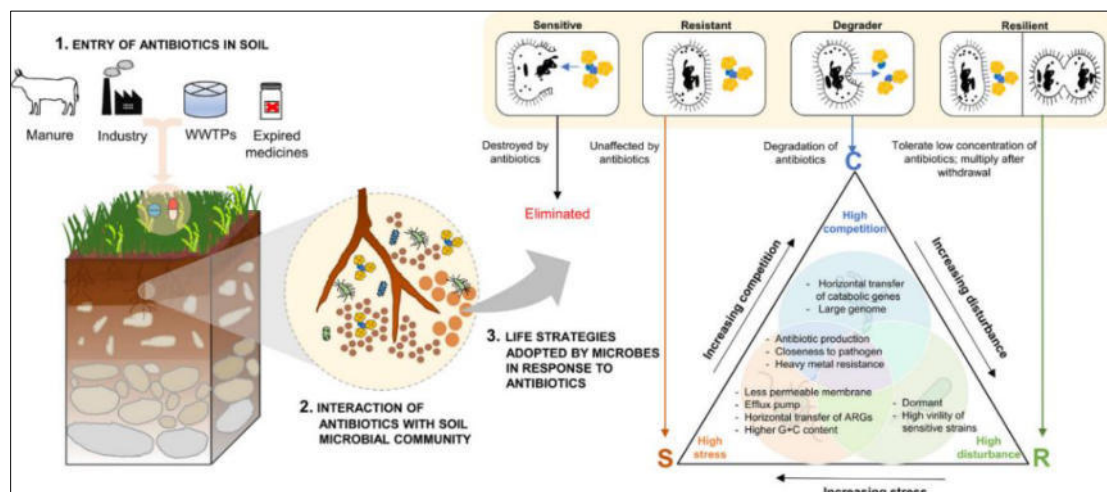
2.2.4. Impactos de los antibióticos

2.2.4.1. Microbiota

La presencia de resistencia de antibióticos en el suelo se da mediante la introducción de estiércol por la ganadería. Por ende, la presencia de antibióticos genera una alteración en la estructura y función de la comunidad de microbiota (Shawver et al., 2021). También, tienen efectos como: minimiza el desarrollo del microbiota y les genera un estrés. Cuando los antibióticos les generan un estrés, obliga al microbiota a generar respuestas de supervivencia y resistencia (bomba menos permeable, bomba de expulsión de antibióticos, mutación de resistencia de antibióticos, transferencia horizontal de genes de resistencia). Por otro lado, los antibióticos generan cambios fisiológicos en la célula y de esta manera genera una perturbación a la comunidad microbiológica (Sharma et al., 2023).

Figura 5

Impacto del antibiótico en el microbiota



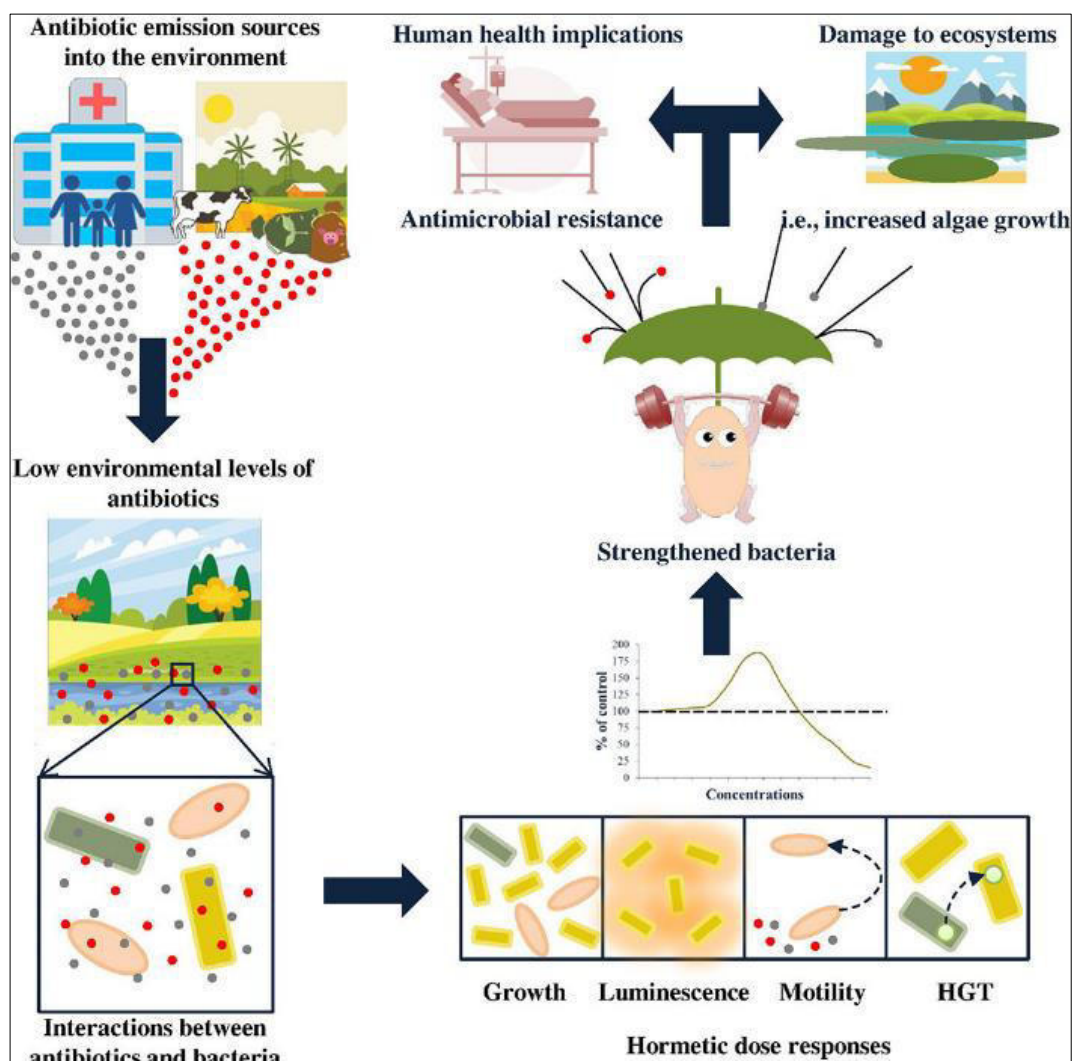
Nota: Tomada de Sharma et al. (2023)

2.2.4.2. *Hormesis*

La hormesis es un fenómeno donde se da dosis – respuesta (dosis bajas incita la estimulación y la dosis alta incitan la inhibición). Por otro lado, la hormesis generalmente utiliza como una unidad cuantitativa la plasticidad biológica a través de la adaptación de situaciones de estrés. Estas respuestas de adaptabilidad pueden eliminarse a la exposición de las plantas que tienen bajos niveles de agentes estresantes bióticos y abióticos. En tal sentido, las dosis bajas generan un beneficio a las plantas a diferencia de las dosis altas que generan un efecto negativo (Iavicoli et al., 2021; Jalal et al., 2021).

Figura 6

Efecto de los antibióticos a la hormesis



Nota: Tomada de Iavicoli et al. (2021)

2.2.4.3. Efecto en las plantas

Los antibióticos pueden generar diferentes respuestas de excitación en el sistema antioxidante, fotosintético y fluorescente de la biomasa aérea. Cuando hay presencia de dosis alta de antibióticos en las plantas inhiben el crecimiento y desarrollo de la biomasa radicular y aérea (Ohore et al., 2022). También, tiene un efecto a la estructura celular, actividad fotosintética, actividad antioxidante, actividades metabólicas y actividades enzimáticas plantas (Khan et al., 2021).

2.2.4.4. Efecto en la fotosíntesis

Los eventos de oxidación y reducción se dan mediante el flujo de electrones, la cual es de gran necesidad para la producción de energía y poder reductor. Por ende, cualquier estrés biótico que genere un retraso a los procesos producirá la disminución de tasas fotosintéticas y posteriormente tendrá un efecto negativo al desarrollo de la planta. En ese mismo sentido, la incorrecta dirección de electrones dará como resultado una generación de especies reactivas de oxígeno fotosíntesis (Rocha et al., 2021).

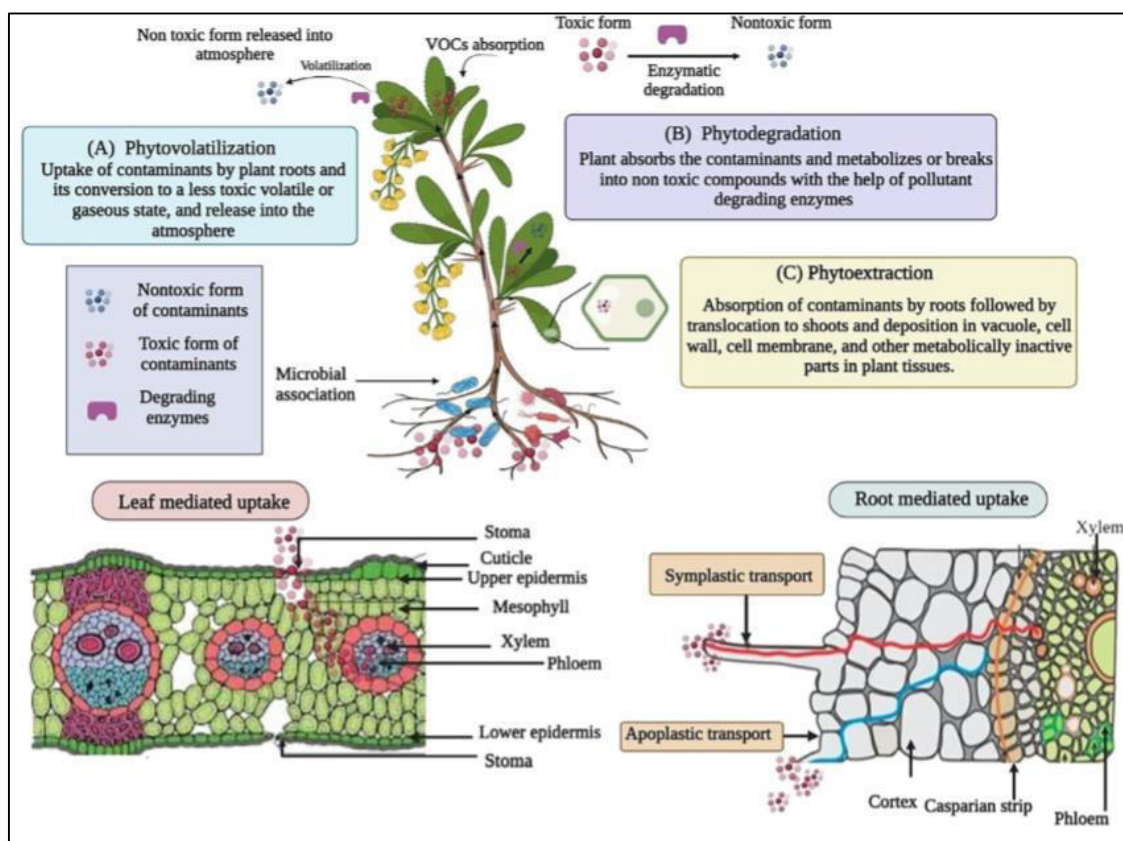
2.2.4.5. Síntesis de la clorofila

Los antibióticos tienen efectos positivos y negativos. Dentro de los efectos negativos, el primer síntoma que muestra es el cambio de color de los órganos fotosintéticos. En ese mismo sentido, la clorofila es un importante parámetro, ya que si la planta muestra manchas cloróticas y necróticas estas indican una degradación de clorofila. el ingreso de los antibióticos se da mediante el hierro, el cual está dentro de la actividad de homeostasis celular del hierro y por tal motivo permite la entrada optimista de varios antibióticos al cloroplasto, posteriormente al ingreso estos pueden alterar el funcionamiento en la etapa de biosíntesis de la clorofila. Por otro lado, el proceso de la síntesis de la clorofila inicia con la formación de glutam il – ARNt y las modificaciones en adelante del resto. Los resultados finales son la clorofila y la clorofila b (Krupka et al., 2022).

2.2.5. Fitorremediación

La fitorremediación se da mediante el empleo de plantas para la remediación in situ en diferentes medios (suelos, aguas superficiales, plantas de tratamientos, aire); que fueron contaminados por metales pesados, antibióticos, desechos orgánicos (Jara-Peña et al., 2014). Por otro lado, este tipo de tecnología de remediación; presenta una solución ambiental, un enfoque amigable y por su bajo costo es económicamente viable para la mejora de áreas degradadas por la contaminación (Aghili & Golzary, 2023).

Figura 7

Proceso de fitorremediación

Nota: Tomado de Maurya et al. (2023).

2.2.5.1. Tecnologías de la fitorremediación

2.2.5.1.1. Fitoestabilización

Esta tecnología consiste en inmovilizar los contaminantes presentes en el suelo, mediante la absorción y acumulación en la biomasa radicular. Este proceso disminuye el movimiento de los contaminantes y elude su el cambio de lugar a las aguas subterráneas o al aire. Esta tecnología se da de manera efectiva en suelos que presenten una textura fina con alta concentración de materia orgánica, y es aplicada en grandes áreas de terrenos y en donde se presencia contaminación superficial (Delgadillo & González, 2011).

2.2.5.1.2. Rizofiltración

La rizofiltración usa las plantas para la eliminación de contaminantes en el medio hídrico mediante la raíz. Esta técnica se desarrolla de la siguiente manera: las plantas son cultivadas de forma hidropónica, cuando la biomasa radicular este bien desarrollada, estas plantas son trasladadas a agua que presentan agentes contaminantes, la función que hacen estas plantas es la absorción y acumulación. Posteriormente la biomasa radicular tiene a saturarse, posterior a ellos las plantas se cosechan y son dispuestos para su uso final (Delgadillo & González, 2011).

2.2.5.1.3. Fitoextracción

La fitoextracción o fitoacumulación se desarrolla mediante la absorción de agentes contaminantes mediante la biomasa radicular y su posterior acumulación en los tallos y en la biomasa aérea. Para esta tecnología, se debe seleccionar las especies adecuadas. Una vez que complete su rol vegetativo, estas son incineradas y posterior a ellos son trasladados a un relleno de seguridad (Ansari et al., 2020).

2.2.5.1.4. Fitovolatilización

Se da mediante la absorción de agua con presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos contaminantes pueden llegar a las hojas y posteriormente se evaporar o volatilizan a la atmosfera (Delgadillo & González, 2011).

2.2.5.1.5. Fitodegradación

En el proceso de la fitodegradación, las plantas y la biota asociada, degradan los contaminantes orgánicos y los convierten en productos que no generen peligro. En mencionado proceso los contaminantes tienden a ser metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas crean enzimas que tienen ayudar a catalizar la degradación (Ansari et al., 2020).

2.2.5.1.6. Fitoimmobilización

Esta tecnología genera la unión y minimización de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la generación de compuestos químicos entre suelo y raíz, y de esta manera inactivan los contaminantes por los procesos de absorción, adsorción y precipitación (Delgadillo & González, 2011).

2.2.6. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), es una especie que se originó en América del Sur. Entre los años 1950 y 2018, se muestra tres etapas históricas para la quinoa en el Perú. En los últimos tiempos esta especie se ha desarrollado en la sierra norte. En el año 2020, el Ministerio de Agricultura y Riego indica que en las regiones de Cajamarca y la Libertad el área de cosecha fue 5 veces más extenso al año 2005 (Nolberto & Campos, 2020).

Por otro lado, la composición química, nutricionales y la fisiología de esta especie se muestran afectadas por la diversidad genética, la geográfica, condiciones ambientales (clima, humedad, temperatura), calidad de suelo, presencia de agentes tóxicos, entre otros (Mu et al., 2023). En ese mismo sentido, esa especie se ha adaptado con facilidad, por ende, se cultiva en los diferentes continentes. Las altitudes para su siembra y cosecha van de 0 a 4000 msnm, en ese sentido, están toleran ambientes fríos, templado y cálidos (Gómez et al., 2016).

2.2.6.1. Clasificación Taxonómica

Division: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsiada

Subclase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia Amaranthaceae

Sub – familia: Chenopodioideae

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

2.2.6.2. Descripción botánica

a. Raíz

Esta especie cuenta con una raíz principal de la cual se generan una gran cantidad de raíces laterales las cuales son ramificadas. La longitud radicular tiene una variación de 0.8 a 1.5 m. Su desarrollo y crecimiento de la biomasa radicular depende del genotipo, tipo y calidad del sustrato, nutrición, humedad, minerales, entre otros (Gómez et al., 2016).

Figura 8

Raíz de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra las raíces de la quinua. Esta Figura fue tomada en la Universidad Nacional de Moquegua.

b. Tallo

La formación de tallos angulosos se cuando este se va alejando del cuello de la raíz, luego se forman más fuertes y firmes sus tejidos. Cuando estos se encuentran más jóvenes la medula es más suave y cuando este llega a la etapa de maduración la medula es más esponjosa y seca. Cuando llega la etapa de cosecha el tallo se cae e internamente queda un hueco o vacío (Gómez et al., 2016).

En cuanto el color del tallo en la época de floración tiende a ser verde, verde-amarillo, naranja, púrpura, rosado, rojo. En algunas variedades de quinua presentan estrías teniendo una combinación de colores, entre ellos el verde, amarillo, rosado, púrpura y amarillo; en otras se muestra la presencia de axilas de color rojo, rosado y púrpura. En la etapa de madures, el tallo tiende a tomar un color crema o rosado. Por otro lado, en cuanto la altura de planta, desde la parte baja del tallo hasta el ápice, tienen a medir de 0.5 m a más de 3 m; dependiendo de las condiciones climáticas y nutricionales (Gómez et al., 2016).

Figura 9

Tipos de tallo de la quinua



Nota: Tomada de Gómez et al. (2016).

c. Hojas

Las hojas se dividen en dos partes (peciolo y lámina). El peciolo de las hojas, tienden a ser largos y acanalados, la longitud de las hojas dependerá del origen, los peciolos son largos cuando estos se originan directo del tallo y son de tamaño reducido los que se originan en las ramas y su color tiende a ser verde, rosado, rojo y purpura (Gómez et al., 2016).

La lámina de la hoja posee tres principales venas que dan origen al peciolo. En el follaje las láminas son de mayor tamaño que las de inflorescencia. Por otro lado, la forma de las láminas de las hojas en triangulares o romboidales, el número de dientes varía entre 3 a 20. En caso de las hojas tiernas están cubiertas con una pubescencia vesicular-granular blanca, rosado o purpura. Cuando las hojas entran a la etapa de maduración tienden a tener un color amarillo, naranja, rosada, rojas o purpuras (Gómez et al., 2016).

Figura 10

Tipos de hojas de la quinua



Nota: Tomada de Gómez et al. (2016).

d. Inflorescencia

Esta se halla en el ápice de la planta con una longitud de 15-70 cm. Tiene ejes principales, secundarios y terciarios, la cual se considera de acuerdo a la forma y posición de los glomérulos y se clasifica en amarantiformes, glomérulos e intermedias (Gómez et al., 2016).

Figura 11

Inflorescencia de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la inflorescencia de la quinua. Esta Figura fue tomada en la Universidad Nacional de Moquegua.

e. Flores

Las flores de la quinua se caracterizan por ser sésiles o pediceladas y se encuentran agrupadas en glomérulos. La ubicación del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro de él, de esta manera es que se determina el tamaño y el número de frutos. Por otro lado, la planta presenta dos tipos de flores (hermafroditas y pistiladas). Las flores hermafroditas se ubican en el ápice del glomérulo, estas tienen mayor tamaño que las pistiladas, estas cuentan con un diámetro de 3 a 5 mm, estas flores cuentan con cinco tépalos, cinco anteras y un ovario supero. En el caso de las flores pistiladas, estas se encuentran ubicadas alrededor y debajo de las flores hermafroditas. Estas flores están comprendidas de cinco tépalos, cinco anteras y un ovario supero. Las flores pistiladas cuentan con un diámetro de 2 a 3 mm (Gómez et al., 2016).

Figura 12

Flores de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra las flores de la quinua. Esta Figura fue tomada en la Universidad Nacional de Moquegua.

f. Fruto

El fruto de la quinua es seco, tiene la forma esférica, la cual está cubierta por el perigonio sepaloide y también las envolturas florales que cubren el fruto. Estas envolturas desaparecen cuando esta especie se encuentra en la etapa de la madurez. El fruto tiene capas las cuales son: el pericarpio y la semilla (Gómez et al., 2016).

Figura 13

Fruto de la quinua



Nota: Tomada de Gómez et al. (2016).

g. Semilla

La semilla cuenta con tres partes establecidas (epispermo, embrión, perisperma). El epispermo, es la capa que protege a la semilla y se encuentra unida al pericarpio. En el caso del embrión, está conformada por partes (cotiledones y radícula); estas forman el 30 % de volumen de la semilla y cubren al perispermo. En ese mismo sentido, el perispermo es el principal tejido de almacenamiento y está formado por granos de almidón de color blanco y forma parte del 60 % de la semilla (Gómez et al., 2016).

Figura 14

Semilla de la quinua



Nota: Tomada de Gómez et al. (2016).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización o tipo del diseño de investigación

Este estudio es de enfoque cuantitativo y de nivel aplicado, dado que busca resolver un problema específico de contaminación del suelo mediante la implementación de una técnica de fitorremediación. Este enfoque es fundamental para el desarrollo de soluciones prácticas que puedan ser implementadas en contextos reales, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la salud pública. Según Gómez et al., "la investigación aplicada se enfoca en resolver problemas prácticos y en la aplicación de teorías en situaciones reales" (Gómez et al., 2024). Esto resalta la relevancia de la investigación en el contexto de la gestión ambiental.

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, lo que implica que se realizarán comparaciones entre suelos contaminados y suelo no contaminado, así como entre diferentes tratamientos aplicados a los suelos. Este diseño es adecuado para evaluar la eficacia de la quinua en la remediación de suelos, ya que permite observar los efectos de la planta en un contexto donde se controlan otras variables que podrían influir en los resultados. Según Loor y Briones, "el diseño cuasiexperimental permite realizar inferencias sobre relaciones causales sin la necesidad de un control riguroso de todas las variables" (Loor & Briones, 2024). Esta flexibilidad es crucial en el contexto de la investigación, donde las condiciones del campo pueden variar.

La elección de la quinua como especie Fitorremediadora se fundamenta en su capacidad conocida para tolerar y acumular contaminantes, lo que ha sido documentado en estudios previos que destacan su potencial en la recuperación de suelos contaminados. Además, la quinua es una especie nativa de los Andes, lo que la hace particularmente adecuada para su uso en regiones como Ilo-Pacocha, donde las condiciones edáficas pueden ser adversas. La investigación no solo busca evaluar la eficiencia de la quinua en la remediación de suelos contaminados, sino también contribuir al conocimiento sobre el uso de especies vegetales nativas en la restauración de ecosistemas degradados.

3.2. Población y/o muestra de estudio

Población

El estudio se enfoca en **suelos contaminados con Ciprofloxacina**. La Ciprofloxacina es un antibiótico de amplio espectro utilizado en medicina humana y veterinaria. Su presencia en el suelo puede tener efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana, incluyendo la generación de resistencia bacteriana.

Muestra

La muestra de estudio consistió en **macetas con 8,7 kg de suelo contaminado con Ciprofloxacina** en cuatro concentraciones diferentes: 0, 1, 10 y 100 µg/g. Estas concentraciones permiten evaluar el efecto de la Ciprofloxacina en diferentes niveles de contaminación.

Lugar de estudio

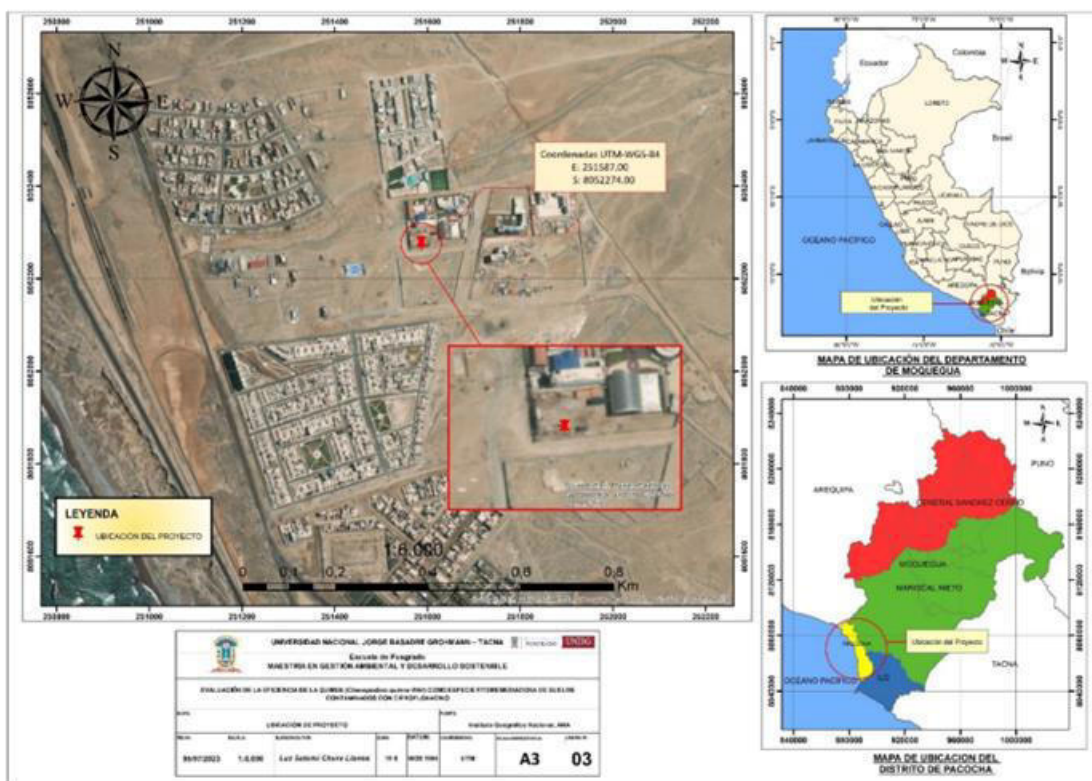
El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la **Universidad Nacional de Moquegua**, ubicada en el distrito de Pacocha, provincia de Ilo, región Moquegua (Figura 15). La Universidad Nacional de Moquegua cuenta con la infraestructura y los recursos necesarios para llevar a cabo este tipo de investigación.

Es importante destacar que la selección de la muestra y el lugar de estudio son cruciales para la validez y la generalización de los resultados. En este caso, se ha optado por un enfoque experimental utilizando macetas con suelo contaminado, lo que permite controlar las variables y analizar el efecto de la Ciprofloxacina en condiciones específicas.

La elección de la Universidad Nacional de Moquegua como lugar de estudio esta relacionada con la disponibilidad de recursos, la experiencia del equipo de investigación en el tema y la relevancia de la problemática en la región.

Figura 15

Mapa de ubicación del proyecto



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el mapa de ubicación de la ejecución del proyecto.

3.3. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

Se recolectó suelo del distrito de Torata, asegurándose de que estuviera libre de contaminantes, especialmente de antibióticos. Posteriormente, este suelo fue contaminado de forma controlada con diferentes concentraciones de Ciprofloxacina, preparadas en soluciones específicas. Las concentraciones se aplicaron al suelo mediante mezclado uniforme, utilizando herramientas limpias para garantizar una distribución homogénea del antibiótico en cada lote de suelo.

Una vez completado el proceso de contaminación, el suelo tratado fue colocado cuidadosamente en las macetas experimentales. Cada maceta recibió una cantidad

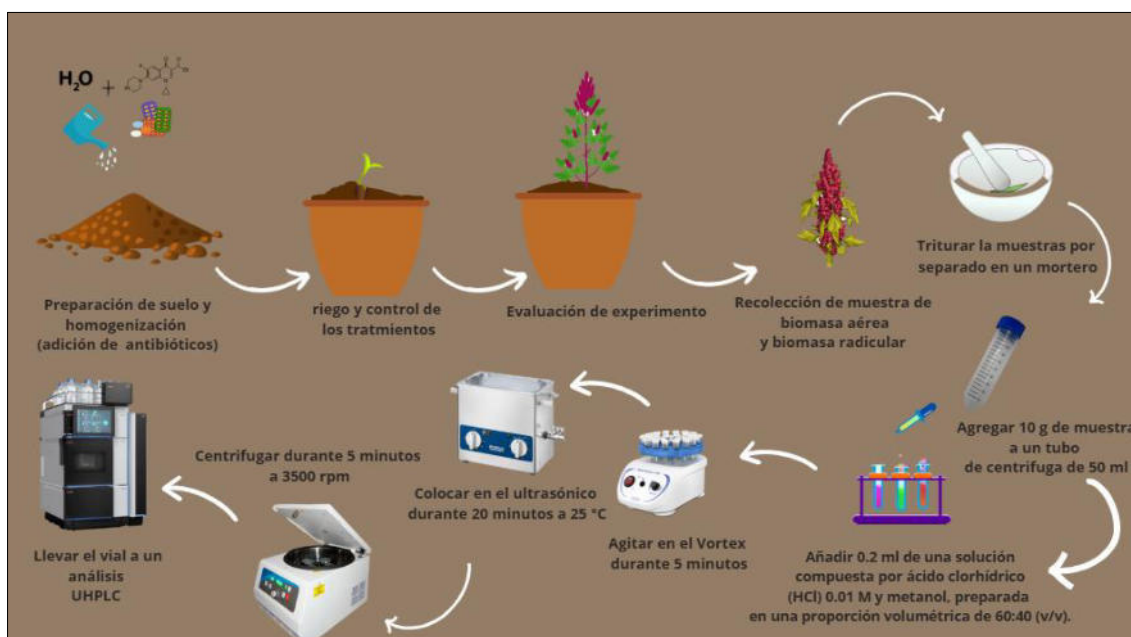
específica de suelo contaminado, siguiendo un diseño experimental completamente al azar, con el fin de reducir posibles sesgos en los resultados.

Posteriormente, el suelo fue humedecido utilizando agua osmotizada libre de antibióticos hasta alcanzar un nivel de humedad uniforme, asegurando condiciones óptimas para la germinación de semillas y desarrollo de la planta.

Al finalizar el tiempo experimental, se recolectaron muestras de suelo, biomasa radicular y biomasa aérea de cada maceta. Las muestras fueron etiquetadas y transportadas bajo condiciones controladas al laboratorio especializado en contaminantes orgánicos y medio ambiente. En el laboratorio, se llevaron a cabo los procesos de extracción y cuantificación del Ciprofloxacina presente en las muestras, utilizando los métodos establecidos previamente.

Figura 16

Procedimiento del desarrollo del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el procedimiento del desarrollo del experimento.

3.4. Método analítico de Ciprofloxacina en suelo (antibiótico)

a. Método de extracción

La desorción de antibióticos se realizó utilizando muestras de suelo previamente expuestas al proceso de adsorción. Para ello, se añadieron 40 mL de una solución de CaCl_2 0,01 M a cada muestra. Las muestras fueron sometidas a un periodo de agitación constante durante 2 horas para facilitar la desorción de los antibióticos adsorbidos (Sofo et al., 2019).

Tras el periodo de agitación, las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 minutos, lo que permitió separar las partículas sólidas del suelo del líquido sobrenadante. Posteriormente, los antibióticos presentes en la solución resultante fueron cuantificados mediante los métodos analíticos establecidos (Sofo et al., 2019).

Este procedimiento permitió evaluar la liberación de los antibióticos previamente adsorbidos en el suelo, simulando condiciones ambientales. Los resultados obtenidos proporcionaron información clave sobre la movilidad de estos compuestos en el suelo agrícola de Moquegua, contribuyendo a un mejor entendimiento de su comportamiento en escenarios reales (Sofo et al., 2019).

3.5. Método de extracción de Ciprofloxacina en biomasa aérea y radicular

a. Preparación de la mezcla inicial:

Se pesó 1 gr. de biomasa vegetal (aérea y radicular) empleando una balanza analítica de alta exactitud. El material vegetal fue colocado en un tubo de ensayo limpio y seco. Luego, se añadieron 0,2 ml de una solución compuesta por ácido clorhídrico (HCl) 0,01 M y metanol, preparada en una proporción volumétrica de 60:40 (v/v) (Eggen et al., 2011).

b. Incorporación de solución buffer:

A continuación, se añadieron 1,7 ml de una solución preparada con acetato de amonio y ácido fórmico en una proporción 90:10 (v/v), utilizada como buffer

para mantener estables las condiciones químicas durante el procedimiento de extracción (Eggen et al., 2011).

c. Homogenización:

La mezcla obtenida fue sometida a agitación constante durante 5 minutos utilizando un equipo Vortex, lo que garantizó la adecuada disolución y el contacto uniforme entre los componentes líquidos y el material vegetal, favoreciendo así la liberación del Ciprofloxacina presente en la muestra (Eggen et al., 2011).

d. Centrifugación inicial:

Tras la homogenización, la muestra fue sometida a un primer proceso de centrifugado a 4000 rpm durante 10 minutos. Este paso permitió separar las partículas sólidas de los compuestos presentes en el sobrenadante (Eggen et al., 2011).

e. Recolección del sobrenadante:

Una vez completado el primer centrifugado, el sobrenadante fue cuidadosamente extraído utilizando una pipeta automática y transferido a un tubo Eppendorf estéril, con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación (Eggen et al., 2011).

f. Centrifugación secundaria:

El sobrenadante transferido se sometió a una segunda centrifugación a una velocidad de 10 000 rpm durante 5 minutos. Este paso adicional permitió eliminar las partículas finas suspendidas, obteniendo un extracto más puro y adecuado para los análisis posteriores (Eggen et al., 2011).

3.6. Desarrollo y validación de análisis cromatográfico para de determinar Ciprofloxacina en biomasa aérea y radicular de la quinua

Se implementó y validó un método analítico utilizando un sistema de cromatografía líquida de ultra alta presión (UHPLC) acoplado a un detector de arreglos de diodos (DAD). Posteriormente, para la detección y cuantificación de Ciprofloxacina ,

se siguió una metodología basada en las directrices descritas por Vancsik et al., (2024), que incluyen los siguientes pasos:

a. Selectividad

Se verificó la selectividad comprobando la presencia de picos en los tiempos de retención determinados para los analitos a identificar. Para ello, se utilizó como blanco una muestra de biomasa aérea de quinua, con el objetivo de evitar la aparición de picos no deseados. Como resultado, se observó una clara separación de la Ciprofloxacina en determinado tiempo de retención, sin interferencias de picos impuros que pudieran afectar el análisis .

b. Linealidad

La validación incluyó la selección de concentraciones para las muestras estándar de Ciprofloxacina. Mediante el análisis en el sistema UHPLC, los picos obtenidos fueron interpretados en función del área, la cual es proporcional a la concentración de cinco niveles establecidos para cada patrón analítico. Para ello, se llevó a cabo la siguiente secuencia:

- Se uso un rango del patron de Ciprofloxacina
- Se preparo cinco concentraciones diferentes (0.5, 1,2,4 y 8 ug/g)
- La interpretación del equipo utilizado se mostro mediante unidad en área eje “Y” y las concentraciones del Ciprofloxacina al eje “X”
- Elaboración de una regresión lineal y determinación del coeficiente de determinación puesta por el equipo UHPLC.

c. Determinacion de limite de detecccion

La determinación del límite de detección (LD) del método se definió como la concentración mínima de una sustancia, en este caso presente en agua de lago, que puede ser detectada. Para establecer esta concentración, se utilizó la fórmula de cálculo basada en la relación señal/ruido (Vancsik et al., 2024).

Se identificó la concentración mínima a partir de la curva de calibración y se expresó en términos de la relación señal/ruido proporcionada por el software

del equipo UHPLC. Posteriormente, este valor se multiplicó por un factor de 3 para obtener el LD (Vancsik et al., 2024).

d. Determinación para el límite de cuantificación

La determinación del límite de cuantificación (LQ) se definió como la concentración mínima del analito que puede ser cuantificada con una precisión aceptable, equivalente a al menos 10 veces la relación señal/ruido. Este valor se obtuvo multiplicando el límite de detección (LD) por un factor de 3,3, (Vancsik et al., 2024).

$$LD = \frac{Conc. Min. \cdot 1,3}{Señal/Ruido}$$

$$LQ = LD * 3,3$$

3.7. Método para cuantificar y detectar polifenoles y capacidad antioxidante

a. Extraer los polifenoles de la planta

El método Folin-Ciocalteu fue empleado para evaluar el contenido total de polifenoles (CPT) en las muestras analizadas. El procedimiento consistió en mezclar 3,75 mL de agua destilada con 0,5 mL de extracto de muestra (o purificado) y 0,25 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (1N). Después de 5 minutos de reacción, se añadió 0,5 mL de una solución de carbonato de sodio al 10 % (p/v). La absorbancia se midió a 765 nm utilizando un espectrofotómetro (UV 1240, Shimadzu, Kioto, Japón) tras un tiempo de reacción de aproximadamente 1 hora a temperatura ambiente. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra en base seca (Gómez-Mejía et al., 2019).

Para determinar el CPT, se construyó una curva de calibración con ácido gálico a concentraciones entre 10 y 90 mg/L, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) > 0,99. La ecuación de la línea de calibración fue $y=16,735x + 0,0875$.

b. Medición de actividad de antioxidante DPPH

La capacidad antioxidante de las muestras se evaluó mediante el método de inhibición del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), según la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995). El procedimiento comenzó mezclando 0,1 mL del extracto de muestra con 3,9 mL de una solución de DPPH (0,1 mM). La mezcla fue incubada en oscuridad a temperatura ambiente durante aproximadamente 30 minutos (Gómez-Mejía et al., 2019).

Posteriormente, se midió la reducción del radical DPPH a una longitud de onda de 517 nm utilizando un espectrofotómetro (UV 1240, Shimadzu, Kioto, Japón). Se utilizó metanol como control positivo, mientras que la solución de DPPH actuó como control negativo (Gómez-Mejía et al., 2019).

Los resultados se expresaron en términos del factor CI50 (mg/L), definido como la concentración del extracto necesaria para inhibir el 50 % de la actividad del radical DPPH (Mustafa et al., 2022; Pedan et al., 2016).

3.8. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

De acuerdo con los objetivos del proyecto y considerando las variables, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), representado por un solo factor con 4 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento. Además, se realizó un análisis de varianza de un factor tras verificar los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad con el Test de Levene, con el propósito de evaluar el nivel de significancia de las variables, utilizando un criterio de $P \leq 0,05$.

Tabla 2*Modelo estadístico*

Tratamiento o Nivel del factor	Repeticiones					Totales	Medias
	1	2	3	4	5	$\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$	$\bar{Y}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i}$
0 agua ()	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y _{1.}	$\bar{Y}_{1.}$
1 µg/kg Ciprofloxacina (T ₂)	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y _{2.}	$\bar{Y}_{2.}$
10 µg/kg Ciprofloxacina (T ₃)	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	Y ₃₄	Y ₃₅	Y _{3.}	$\bar{Y}_{3.}$
100µg/kg Ciprofloxacina (T ₄)	Y ₄₁	Y ₄₂	Y ₄₃	Y ₄₄	Y ₄₅	Y _{4.}	$\bar{Y}_{4.}$

Nota. El elemento Y_{ij} en esta tabla es la j -ésima observación en el tratamiento i ; se considera 5 repeticiones observadas en el tratamiento i .

Planteamiento de la Hipótesis Estadística

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (No existe diferencia alguna en los tratamientos de concentraciones de Ciprofloxacina)

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 Ciprofloxacina es diferente)

Dado que esta es la j -ésima observación o medición en el i -ésimo tratamiento, se espera una variación debido al muestreo aleatorio, por lo que los valores en cada tratamiento estarán sesgados por una cantidad llamada error residual o de tratamiento. Se puede expresar como:

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

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:

$$Y_{ij} = \mu_j + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{con } i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \dots, 15$$

Modelo Estadístico del ANOVA

La Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA) para un Diseño Completamente al Azar (DCA) esta defina de la siguiente manera:

Tabla 3*Tabla de Análisis de Varianza*

Fuente de Variación (F. V.)	Suma de Cuadrados (S. C.)	Grados de Libertad (g. l.)	Cuadrados Medios (C. M.)	F₀
Tratamientos	$SC_{TRATAMIENTOS}$	$k - 1$	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{k - 1}$	$\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$
Error	SC_{ERROR}	$N - k$	$\frac{SC_{ERROR}}{N - k}$	---
Total	SC_{TOTAL}	$N - 1$	---	---

Para ello se requieren las siguientes notas:

- Los grados de libertad
 - Los grados de libertad de los tratamientos es igual al número de tratamientos menos uno.
 - Los grados de libertad del total es igual al número total de datos menos uno
 - Los grados de libertad del error se obtiene por la diferencia:
 $gl_{ERROR} = gl_{TOTAL} - gl_{TRATAMIENTO}$
- Las Sumas de Cuadrados
 - $SC_{TOTAL} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$
 - $SC_{TRATAMIENTOS} = n \sum_{i=1}^k (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2$
 - $SC_{ERROR} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{n_i}$
- Del cociente: $\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$ se tiene que H₀ se debe rechazar si el valor de F₀ es demasiado grande.

3.9. Materiales y/o instrumentos

Equipos

- Purificador de agua destilada
- pH metro
- Estufa
- Mufla

- HPLC equipado con detector DAD Infinity 1290 y un software de procesamiento de datos (Chromeleon v. 7.2).
- Balanza analítica con sensibilidad de 0,0001 gr y con una capacidad de 200 gr
- Sistema de filtración al vacío
- Agitadores magnéticos
- Campana extractora de gases
- Centrifuga

Materiales

- Probetas de 50, 250, 500 y 1000 mL
- Fiolas de 10, 25, 50, 100, 200, 250 y 500 mL
- Pipetas de 1, 2, 5, 10 mL
- Micropipetas de volumen variable
- Vaso de precipitación de 100 y 250 mL
- Filtros de membrana 0,45 μm (Nylon)
- Columnas C18 y C8
- Cartuchos
- Mangueras de suministro suero
- Viales ámbar de 2 mL con tapa
- Matraces volumétricos con tapón
- pH metro
- Tips de 20, 200 y 1000 μl
- Cajas de madera
- Flexómetro
- Tamiz
- Mortero
- Crisoles
- Sustrato compost
- Semillas de quinua
- Regla común
- Cuaderno de campo

- Plumón indeleble
- Lápiz
- Cintas de seguridad
- Engrapadora
- Grapas
- Hojas bond A-4

Reactivos

- Patrón de Ciprofloxacina (Sigma Aldrich, Rockville, USA) grado HPLC.
- Agua ultra pura
- Acetonitrilo grado HPLC (Tedia)
- Acetonitrilo: Buffer (NaH_2PO_4 , 20 Mm) (1:1, v/v)
- Metanol grado HPLC
- Diclorometano grado HPLC
- Ácido Sulfúrico (1:1; v: v) conservante
- Mix de polifenoles con una pureza al 99 %
- Ácido orto fosfórico (Mallinckrodt Chemicals)
- Ácido fórmico (JT Baker) fase móvil
- Ácido cítrico monohidratado
- Citrato de sodio dihidratado (JT Baker)
- Agua Milli-Q (Synergy Ultrapure Water System, Millipore, Francia)
- Na_2EDTA

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presencia de Ciprofloxacina en el suelo

El suelo tiene alta capacidad de adsorción de Ciprofloxacina, para ello se realizó pruebas en el laboratorio, los suelos fueron contaminados al inicio del experimento en las concentraciones de 0, 1, 10 y 100 mg/kg. El tratamiento T1, los valores de concentración de equilibrio (C_e) fueron consistentemente bajos y las concentraciones en el suelo (C_s) presentaron valores negativos. Esto confirma la ausencia de Ciprofloxacina en el sistema experimental y valida la pureza inicial del suelo utilizado en el experimento. En el tratamiento T2 con una concentración inicial de 1 mg/kg evidenció una alta eficiencia de sorción en el suelo, alcanzando un porcentaje promedio de sorción del $96,01 \pm 0,49 \%$. El Ciprofloxacina presente en la solución fue retenido casi en su totalidad por el suelo, lo que refleja su elevada capacidad de adsorción incluso a bajas concentraciones del antibiótico. En el caso el tratamiento T3 con una concentración de 10 mg/kg de Ciprofloxacina, el suelo mostró una eficiencia de sorción promedio de $99,64 \pm 0,06 \%$, lo que indica que el sistema experimental se aproximó al límite de la capacidad de adsorción del suelo. En el ultimo caso fue el tratamiento T4, con una concentración elevada de 100 mg/kg, el suelo alcanzó una adsorción casi completa del antibiótico, con un porcentaje promedio de sorción de $99,96 \pm 0,00 \%$. Estos resultados demuestran que el suelo posee una alta capacidad de retención.

Tabla 4*Concentración de Ciprofloxacina en suelo*

Tratamiento	Tiempo (MIN)	Repetición	Conc (mg/kg)	Peso Inicial	Peso Final	Ce (mg/kg)	Volumen de equilibrio (mL)	Masa de Producto de Equilibrio (mg)	Concentración (mg/g)	Cs (mg /Kg)	Porcentaje sorbido (%)	Desviación estándar	Error	Promedio (%)
T1-R1	120	1	0	15,05	15,91	0,0488	9,14	0,0004	-0,0002	-0,223	ND			
T1-R2	120	2	0	15,24	16,1	0,0457	9,14	0,0004	-0,0002	-0,2089	ND			
T1-R3	120	3	0	15,2	16,09	0,0429	9,11	0,0004	-0,0002	-0,1953	ND	ND	ND	ND
T1-R4	120	4	0	15,22	16,01	0,0457	9,21	0,0004	-0,0002	-0,2105	ND			
T1-R5	120	5	0	15,4	16,25	0,0468	9,15	0,0004	-0,0002	-0,214	ND			
T2R1	120	1	1	14,93	15,73	0,0553	9,2	0,0005	0,0047	47,458	94,92			
T2R2	120	2	1	14,88	15,66	0,043	9,22	0,0004	0,0048	48,017	96,03			
T2R3	120	3	1	14,76	15,54	0,0444	9,22	0,0004	0,0048	47,955	95,91	0,49	0,29	95,79
T2R4	120	4	1	15,05	15,84	0,0425	9,21	0,0004	0,0048	48,044	96,09			
T2R5	120	5	1	15,4	16,1	0,0429	9,3	0,0004	0,0048	48,006	96,01			
T3R1	120	1	10	15,06	15,75	0,0421	9,31	0,0004	0,0498	498,042	99,61			
T3R2	120	2	10	14,91	15,64	0,0411	9,27	0,0004	0,0498	498,094	99,62			
T3R3	120	3	10	14,93	15,84	0,0419	9,09	0,0004	0,0498	498,094	99,62	0,06	0,04	99,64
T3R4	120	4	10	15,14	16,15	0,0274	8,99	0,0002	0,0499	49,877	99,75			
T3R5	120	5	10	14,95	15,9	0,0415	9,05	0,0004	0,0498	498,121	99,62			
T4R1	120	1	100	14,93	15,67	0,0434	9,26	0,0004	0,4998	499,799	99,96			
T4R2	120	2	100	14,95	15,57	0,0431	9,38	0,0004	0,4998	4,997,977	99,96			
T4R3	120	3	100	15,1	15,9	0,0406	9,2	0,0004	0,4998	4,998,133	99,96	0	0	99,96
T4R4	120	4	100	15,11	16	0,0426	9,11	0,0004	0,4998	4,998,059	99,96			
T4R5	120	5	100	15,16	15,94	0,0407	9,22	0,0004	0,4998	4,998,122	99,96			

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración de ciprofloxacina en el suelo.

4.2. Presencia de Ciprofloxacina en biomasa aérea

Se cuantifico Ciprofloxacina en las muestras de biomasa aérea mediante el cromatógrafo HPLC, la cual permitió hacer el análisis de varianza (ANOVA). Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, en la concentración de Ciprofloxacina acumulada en la biomasa aérea teniendo un $P < 0,05$, la suma de cuadrados atribuida al factor “Tratamiento” (1,0470) representa una porción considerable de la variabilidad total observada, mientras que la suma de cuadrados residual (0.1452) es baja, lo que confirma la eficiencia del modelo estadístico.

Tabla 5

Concentración de Ciprofloxacina en biomasa aérea de la quinua

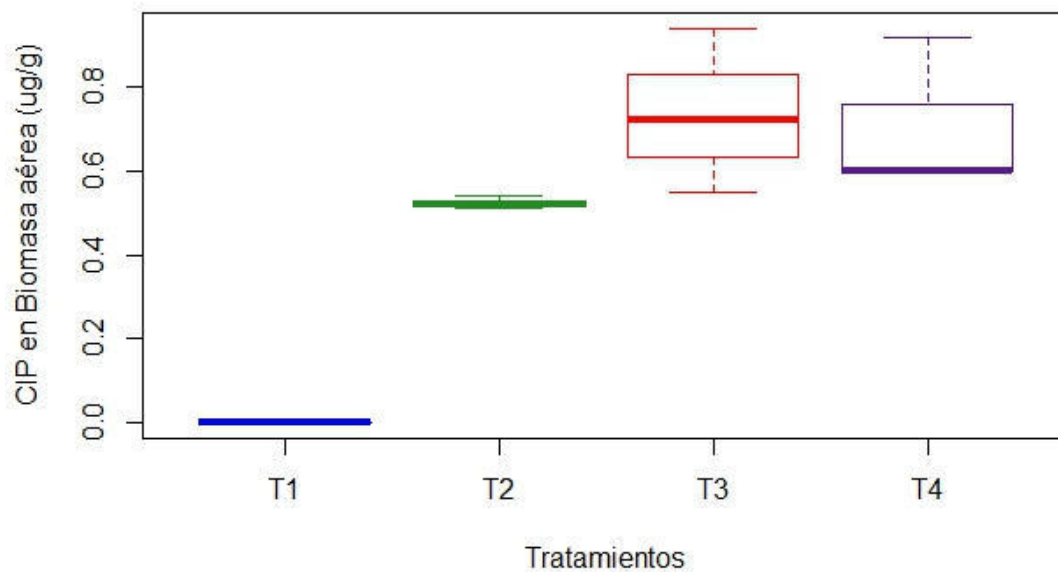
Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor P
Tratamiento	3	1,0470	0,349	19,23	0,000514
Residual	8	0,1452	0,0182		

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración de ciprofloxacina en la biomasa aérea de la quinua.

El gráfico de cajas representa la concentración de Ciprofloxacina acumulada en la biomasa aérea de la quinua para los diferentes tratamientos. En el tratamiento T1 no se presencio concentraciones de Ciprofloxacina, ya que este tratamiento no se aplicó mencionado antibiótico, por tal motivo su comportamiento es significativamente diferente a los demás tratamientos. El tratamiento T2 presento una concentración moderada de Ciprofloxacina, con una mediana mayor a $0,5 \mu\text{g/g}$. este valor refleja una diferencia con el tratamiento T1. En el caso de los tratamientos T3 y T4 mostraron concentraciones más altas de Ciprofloxacina. estos resultados evidencian la capacidad de la quinua de adsorber Ciprofloxacina desde el suelo hacia la biomasa aérea.

Figura 17

Concentración de Ciprofloxacina en biomasa aérea de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la concentración de ciprofloxacina en la biomasa aérea de la quinua.

4.3. Presencia de Ciprofloxacina en biomasa radicular

Los resultados obtenidos en el análisis de la concentración de Ciprofloxacina en biomasa radicular de los tratamientos T1, T2, T3 y T4, indican que todos los valores están por debajo del límite de cuantificación (LQ = 0,55 ug/g) establecido por el método analítico utilizado. Esto implica que la sensibilidad del análisis no permite cuantificar concentraciones de Ciprofloxacina menores a este límite. En tal sentido, las concentraciones detectadas se consideran no cuantificables.

Tabla 6*Concentración de Ciprofloxacina en biomasa radicular de la quinua*

Tratamiento	Área	Concentración	Unidad de Medida
T1-R1	21,69	0,49	ug/g
T1-R2	13,91	0,38	ug/g
T1-R3	16,11	0,41	ug/g
T2R1	17,72	0,43	ug/g
T2R2	20,96	0,48	ug/g
T2R3	16,28	0,42	ug/g
T3R1	18,89	0,45	ug/g
T3R2	19,1	0,45	ug/g
T3R3	16,86	0,42	ug/g
T4R1	17,57	0,43	ug/g
T4R2	14,39	0,39	ug/g
T4R3	17,3	0,43	ug/g

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración de ciprofloxacina en la biomasa radicular de la quinua.

4.4. Capacidad de compuestos fenólicos totales (CFT) en quinua

El análisis de las concentraciones de polifenoles totales en la quinua bajo diferentes tratamientos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), con el objetivo si existe diferencias significativas entre los tratamientos. Como se puede apreciar en la tabla el valor p asociado al efecto de los tratamientos es de 0,494 la cual este valor es mayor al nivel de significancia (0,05), por ende, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

Tabla 7

Concentración de polifenoles totales en la quinua

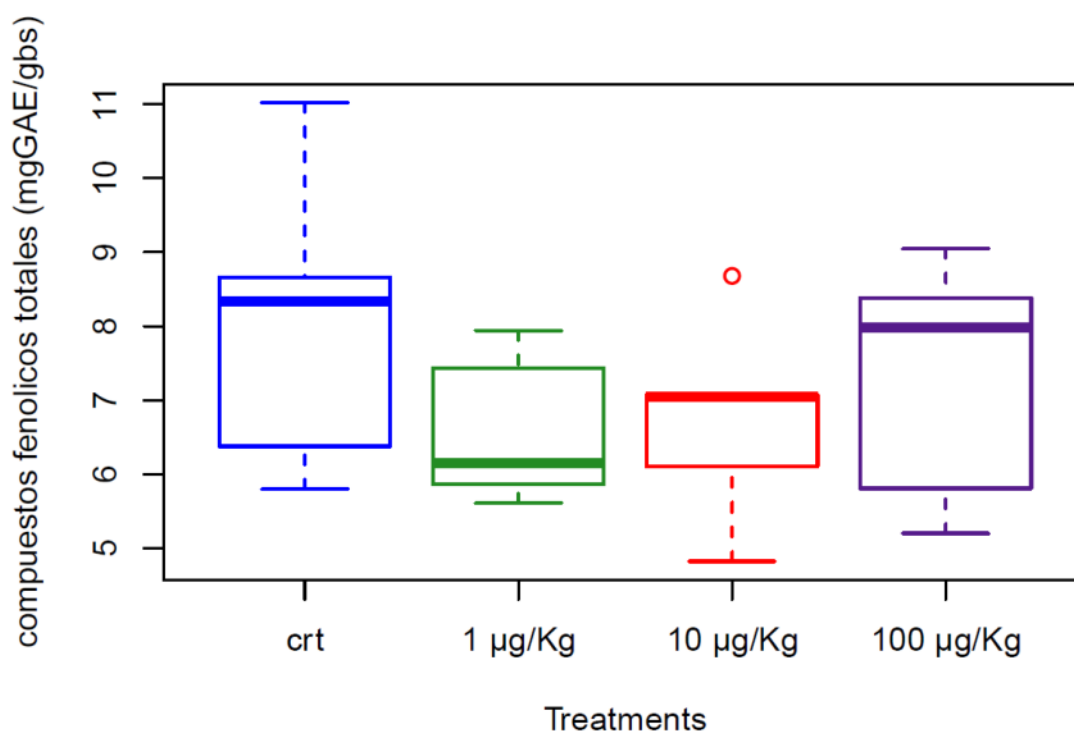
Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	6,37	2,122	0,835	0,494
Residual	16	40,66	2,541		

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración de polifenoles totales de la quinua.

El grafico de diagrama de cajas representa una distribución de los compuestos fenólicos totales (mg GAE/gbs) bajo diferentes tratamientos T1 (crt), T2 (1 µg/Kg), T3 (10 µg/Kg), T4 (100 µg/Kg). Mencionados tratamientos no demuestran diferencias marcadas en las concentraciones de compuestos fenólicos totales en la quinua. La cual demuestra una concordancia con el análisis estadístico (ANOVA) en la cual no mostró diferencias significativas.

Figura 18

Concentración de polifenoles totales en la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración de polifenoles totales de la quinua.

4.5. Capacidad antioxidante en quinua DPPH

El análisis de varianza realizado para evaluar los tratamientos no identificó diferencias estadísticamente significativas entre ellos al nivel de confianza del 95 %. La suma de cuadrados correspondiente a los tratamientos fue de 29,57; con 3 grados de libertad, resultando en una media de cuadrados de 9,856. El estadístico F calculado fue de 1,719; con un valor P de 0,212; lo que indica que la variabilidad observada entre los grupos no alcanza un nivel suficiente para ser considerada significativa. Por otro lado, la suma de cuadrados residual fue de 74,55; con 13 grados de libertad, y una media de cuadrados de 5,735; representando la variabilidad dentro de los grupos que no pudo ser atribuida a las diferencias entre los tratamientos. Dado que el valor P obtenido ($P=0,212$) excede el umbral de significancia comúnmente aceptado ($\alpha=0,05$), no se rechaza la hipótesis nula. Esto sugiere que no existen diferencias significativas entre los tratamientos analizados, indicando que estos no tienen un efecto relevante sobre la variable de interés bajo las condiciones evaluadas en el presente estudio.

Tabla 8

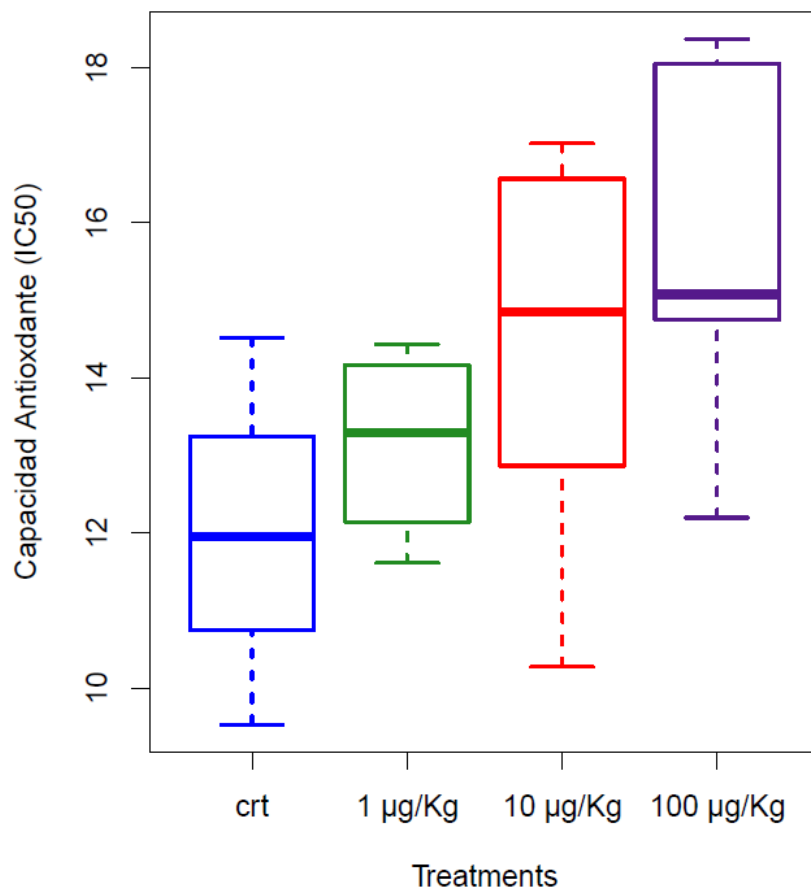
Concentración de capacidad antioxidante de la quinua

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor P
Tratamientos	3	29,57	9,856	1,719	0,212
Residual	13	74,55	5,735		

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la concentración la capacidad antioxidante de la quinua.

Figura 19

Concentración de capacidad antioxidante de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Este figura muestra la concentración la capacidad antioxidante de la quinua.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio destacan la notable capacidad del suelo para adsorber compuestos pertenecientes a la familia de las quinolonas, como el Ciprofloxacina (CIP). En nuestros análisis, se observó que hasta más del 90 % del CIP fue adsorbido por el suelo, corroborando la fuerte afinidad entre el fármaco y las partículas del suelo. Este comportamiento es consistente con investigaciones previas, como las realizadas por Cela-Dablanca et al., (2024), quienes identificaron que el CIP presenta una adsorción significativamente mayor en suelos en comparación con otros fármacos, lo que refleja sus características de una especie zwitteriónica, lo que lleva a que sus interacciones electrostáticas y puentes de hidrogeno a con el suelo; presente su fuerte relación y que se seguidamente esta elevada adsorción explicaría su persistencia en el ambiente y proporcionando de tal forma condiciones favorables para su posterior absorción por las plantas. La capacidad de las raíces de la quinua para absorber y translocar CIP desde el suelo hacia su interior también ha sido documentada en estudios recientes (Maldonado et al., 2023b; Maldonado, Vega Quispe, et al., 2022; Ramos et al., 2023b). Una vez absorbido, el CIP es transportado a través del sistema vascular de la planta, alcanzando no solo las raíces, sino también la biomasa aérea, como lo describen Sidhu et al., (2019). Este transporte sistémico sugiere que el CIP ingresa al sistema xilemático, donde puede ser metabolizado en subproductos, contribuyendo a su desintoxicación y reduciendo su impacto negativo en el desarrollo de la planta. Adicionalmente, la transformación metabólica del CIP dentro de la quinua parece jugar un papel fundamental en la tolerancia de la planta a este compuesto. Según Zhao et al., (2018), los mecanismos de desintoxicación metabólica en plantas pueden prevenir alteraciones significativas en su morfología y fisiología, incluso en presencia de contaminantes como los residuos farmacéuticos. Por lo tanto, estos resultados sugieren que la quinua posee mecanismos evolutivos adaptativos que le permiten resistir el estrés causado por la contaminación farmacéutica, preservando sus capacidades funcionales, como la capacidad antioxidante (Ramos et al., 2023b). Estos hallazgos resaltan el potencial de la quinua como modelo para estudiar la interacción planta-contaminante en suelos afectados.

La cantidad de Ciprofloxacina (CIP) presente en la biomasa aérea de la quinua puede explicarse a partir del transporte inicial de esta sustancia química a través del apoplasto, específicamente mediante el sistema vascular. Este comportamiento difiere del observado en monocotiledóneas, ya que, en el caso de la quinua, una especie dicotiledónea, la absorción en la biomasa parece estar limitada, lo que podría deberse a mecanismos fisiológicos particulares de esta planta (Sidhu et al., 2019). Además, la biotransformación del CIP en metabolitos secundarios, como resultado de procesos de hidroxilación y la oxidación del anillo de piperazina, representa una ruta metabólica clave que permite a la quinua procesar el CIP y adaptarse a concentraciones significativas de este contaminante en el suelo (Fan et al., 2024a). Por tal motivo, la quinua muestra una notable capacidad para acumular Ciprofloxacina, lo que evidencia una interacción compleja entre las propiedades fisicoquímicas del contaminante, los mecanismos de transporte fisiológico en las plantas y las condiciones del entorno radicular (X. Chen et al., 2024). Estudios previos han señalado que los fluoroquinolonas, gracias a su persistencia y alta afinidad de adsorción en suelos, tienen una marcada propensión a ser absorbidos por las raíces de las plantas y transportados posteriormente hacia los tejidos superiores (X. Chen et al., 2024). En el caso específico de la quinua, esta acumulación diferenciada entre las raíces y la biomasa aérea refleja un equilibrio dinámico entre las características químicas del compuesto y los procesos fisiológicos de la planta, que facilitan el movimiento eficiente de la Ciprofloxacina hacia las partes superiores. Este transporte eficiente puede atribuirse a su moderada hidrofilia, con un log Kow cercano a 1.4 bajo condiciones neutras, lo que favorece su disolución en la savia xilemática y su movilización dentro del sistema vascular impulsada por el flujo transpiratorio que ocurre en los estomas (Wu et al., 2025).

La capacidad de la Ciprofloxacina para ser transportada desde las raíces hacia las hojas es exclusiva de la quinua. Investigaciones realizadas en otras especies vegetales, como *Lemna minor* y *Azolla filiculoides*, han documentado patrones similares de translocación hacia las partes aéreas, donde los contaminantes son almacenados de manera estratégica (Maldonado, Moreno Terrazas, et al., 2022). En estos casos, el flujo transpiratorio se posiciona como el principal motor que permite la distribución del compuesto hacia los órganos superiores. Una vez en las hojas, la Ciprofloxacina tiende a

ser retenida en compartimentos intracelulares, tales como vacuolas, apoplastos o paredes celulares, lo que constituye un mecanismo para minimizar los efectos tóxicos del contaminante en los tejidos metabólicamente activos. Este tipo de almacenamiento intracelular es común en las plantas y representa una estrategia adaptativa para gestionar contaminantes orgánicos y limitar su impacto en procesos vitales (X. Chen et al., 2024)

La diferencia en los niveles de acumulación entre las raíces y las partes aéreas también pone de manifiesto el papel clave de las características fisicoquímicas del contaminante y de los procesos fisiológicos de las plantas. Mientras las raíces actúan como la principal entrada para la Ciprofloxacina, su afinidad por el transporte xilemático facilita su movimiento hacia las hojas. Este comportamiento es congruente con lo observado en otros cultivos como el trigo, la lechuga y la zanahoria, en los cuales las fluoroquinolonas, incluida la Ciprofloxacina, exhiben patrones de acumulación similares (Eggen et al., 2011). Sin embargo, el grado de acumulación puede variar significativamente dependiendo de factores como el pH, la composición del suelo y la disponibilidad de materia orgánica, sugiriendo que las interacciones entre el contaminante y el entorno radicular son determinantes para su distribución en la planta (Sivaranjani & Panwar, 2023)

Por otra parte, la acumulación de Ciprofloxacina en cultivos como la quinua plantea serias preocupaciones desde el punto de vista ambiental y de salud pública. La presencia de este contaminante en las partes comestibles de las plantas podría dar lugar a la exposición indirecta de los consumidores, lo que subraya la necesidad de comprender mejor los procesos de transferencia de contaminantes dentro de los sistemas suelo-planta (X. Chen et al., 2024). Adicionalmente, la persistencia de fluoroquinolonas en suelos agrícolas y su acumulación en los cultivos contribuyen al desarrollo de resistencia a los antibióticos en microorganismos del suelo y microbiotas asociadas. Esto representa un desafío ambiental y sanitario de alcance global, exacerbado por prácticas agrícolas como el uso de fertilizantes orgánicos y el riego con aguas residuales tratadas, que pueden incrementar la presencia de antibióticos en el suelo (X. Chen et al., 2024; Dai et al., 2022; Turcios & Papenbrock, 2019)

En este contexto, los estudios sobre la acumulación de Ciprofloxacina en la quinua no solo destacan la importancia de profundizar en la investigación de los efectos de las fluoroquinolonas en los sistemas agrícolas, sino también la necesidad urgente de desarrollar estrategias sostenibles que mitiguen la contaminación del suelo destinado a la producción de alimentos. Los patrones de acumulación observados en la quinua y otras plantas enfatizan la necesidad de evaluar los riesgos potenciales asociados a estos contaminantes y de promover prácticas agrícolas que garanticen la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria a largo plazo.

En cuanto a las concentraciones de Ciprofloxacina en la biomasa radicular de la quinua, los valores obtenidos estuvieron por debajo del límite de cuantificación ($LQ = 0.55 \mu\text{g/g}$), lo que indica que las raíces presentan una capacidad limitada para retener este compuesto. Este comportamiento sugiere que, aunque el Ciprofloxacina es absorbido por las raíces, no se acumula significativamente en estas estructuras. En su lugar, el antibiótico es transportado a través del sistema vascular hacia la biomasa aérea, donde se registra una mayor concentración (Wu et al., 2025). Esto se da porque, el Ciprofloxacina no permanece únicamente en las raíces de las plantas, ya que su dinámica en el sistema suelo-planta está influenciada por interacciones fisicoquímicas y biológicas complejas. El transporte del Ciprofloxacina hacia la biomasa aérea depende principalmente de su partición química en el suelo, regulada por el pH y su transformación entre formas catiónicas, zwitteriónicas y aniónicas (Nkoh et al., 2024). Por ende, en ambientes con pH inferior a 6.3, el Ciprofloxacina predomina en su forma catiónica, lo que intensifica su interacción con las superficies cargadas negativamente del suelo y de las raíces, debido a puentes catiónicos y procesos de adsorción en los coloides. Sin embargo, al incrementarse el pH, la molécula adquiere formas menos cargadas o aniónicas, lo que aumenta su movilidad y facilita su absorción pasiva o activa hacia el sistema vascular de las plantas. Una vez absorbido, el Ciprofloxacina es transportado a través del xilema mediante el flujo transpiratorio (Nkoh et al., 2024). También se da por una interacción compleja de factores fisicoquímicos, biológicos y fisiológicos que ocurren tanto en la rizósfera como en los tejidos radiculares, determinando la dinámica del contaminante y su baja acumulación en estas estructuras (Wu et al., 2025). Uno de los principales factores responsables de este comportamiento es la interacción de la Ciprofloxacina con los componentes del suelo.

Este antibiótico tiene una elevada afinidad por metales como hierro, calcio y magnesio, elementos comunes en los suelos, que forman complejos estables con la molécula, disminuyendo su biodisponibilidad para la absorción radicular (Geng et al., 2022). Este fenómeno es especialmente relevante en suelos con altos niveles de materia orgánica, donde las interacciones con ácidos húmicos y fúlvicos intensifican aún más la formación de compuestos inmovilizados. Asimismo, la Ciprofloxacina, al ser un compuesto anfotérico, presenta propiedades iónicas que varían con el pH del entorno, afectando significativamente su movilidad en el suelo. Dependiendo de las condiciones de pH, puede adquirir cargas que complican su transporte hacia las raíces, limitando aún más su disponibilidad (Zhou et al., 2024).

Otro factor clave es la capacidad de las raíces para alterar el entorno químico del suelo mediante la exudación de compuestos orgánicos como ácidos fenólicos, flavonoides y ácidos orgánicos. Estas sustancias tienen el potencial de modificar el pH y las condiciones redox de la rizósfera, promoviendo reacciones químicas que inmovilizan la Ciprofloxacina o transforman su estructura en formas químicas menos disponibles para su absorción (Geng et al., 2022). Ácidos como el oxálico y el cítrico, por ejemplo, poseen una alta capacidad para quelar metales, compitiendo con la Ciprofloxacina en la interacción con iones metálicos, lo que afecta su movilidad y disponibilidad en el entorno cercano a las raíces. De manera similar, las secreciones fenólicas, que actúan como antioxidantes y antimicrobianos, además de proteger a la planta de patógenos, pueden influir en la estabilidad química de la Ciprofloxacina, facilitando reacciones químicas que convierten este compuesto en derivados no absorbibles. Estos procesos resaltan la importancia del entorno rizosférico como un sistema dinámico que regula la entrada de compuestos al sistema radicular (Oubohssaine & Dahmani, 2024).

La actividad microbiana en la rizósfera también desempeña un papel importante en la reducción de la biodisponibilidad de la Ciprofloxacina (Geng et al., 2022). La rizósfera alberga una comunidad microbiana diversa que interactúa estrechamente con las raíces y contribuye a la degradación de compuestos orgánicos complejos, como los antibióticos, mediante procesos enzimáticos específicos. Bacterias y hongos del suelo poseen enzimas capaces de transformar la Ciprofloxacina en metabolitos más simples y menos tóxicos, lo que disminuye su concentración disponible para ser absorbida por las

raíces (Oubohssaine & Dahmani, 2024). Procesos como la hidrólisis, la desaminación y la decarboxilación generan productos con menor movilidad y afinidad para ser transportados por las raíces. Además, las secreciones radiculares pueden influir en el crecimiento de comunidades microbianas específicas, estimulando la degradación del contaminante antes de que este alcance las raíces. Esto pone de manifiesto la interacción entre la planta, la microbiota y el contaminante, donde la biodegradación microbiana reduce drásticamente la cantidad de Ciprofloxacina que puede ser retenida en las raíces (Ketehouli et al., 2024).

Por otro lado, los polifenoles totales (CFT) y la capacidad antioxidante en quinua expuesta a estrés químico mediante tratamientos con Ciprofloxacina evidenció patrones relevantes. Los niveles de polifenoles totales no presentaron variaciones estadísticamente significativas, incluso frente a incrementos progresivos en las concentraciones de Ciprofloxacina. Este fenómeno indica una notable resiliencia en los niveles de polifenoles ante condiciones de estrés químico (Aguzie et al., 2024). En la quinua, los tratamientos con Ciprofloxacina (1 $\mu\text{g/g}$, 10 $\mu\text{g/g}$ y 100 $\mu\text{g/g}$) no modificaron de forma apreciable los niveles de polifenoles totales en relación con el control. Esto sugiere que los polifenoles, como metabolitos secundarios de alta relevancia funcional, desempeñan roles estructurales y defensivos que parecen estar menos influenciados por el estrés químico (Fan et al., 2024b). No obstante, su contribución podría ser complementada o eclipsada por otros mecanismos antioxidantes (Qi et al., 2025). Por ejemplo, el estudio del desarrollo de la especie *Triticum aestivum* L. bajo estrés de antibióticos, obtuvo concentraciones de hasta 80 mg/L de otros antibióticos tampoco indujeron alteraciones significativas en las concentraciones de CFT en raíces ni brotes (Fiaz et al., 2023b)

En contraste, la capacidad antioxidante en quinua mostró una mayor dinámica bajo las mismas condiciones de tratamiento. Los valores de IC50, indicador de la capacidad antioxidante, aumentaron de manera progresiva con concentraciones crecientes de Ciprofloxacina. Aunque las diferencias observadas carecieron de significancia estadística, sugieren una respuesta adaptativa potencial frente al estrés químico. Por ejemplo, los valores máximos de IC50 (14-16) se obtuvieron en los tratamientos con 100 $\mu\text{g/g}$ de Ciprofloxacina, mientras que en el control oscilaron entre 10 y 12. En el caso del trigo, como referencia, se registraron aumentos significativos en la actividad de enzimas

antioxidantes clave como el superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la peroxidasa (POD) en presencia de otros antibióticos. Esto respalda la hipótesis de que el daño oxidativo inducido por especies reactivas de oxígeno (ROS) constituye un factor determinante (Fiaz et al., 2023b).

Pese a los incrementos en la capacidad antioxidante, estos no mostraron correlación directa con las concentraciones de polifenoles totales, sugiriendo que otros mecanismos, posiblemente relacionados con la actividad enzimática antioxidante, desempeñan un papel predominante en la neutralización de ROS (Pawłowska & Biczak, 2024). En trigo, las raíces demostraron mayor susceptibilidad a los antibióticos, reflejando incrementos más pronunciados en actividad antioxidante y niveles de ácido abscísico (ABA) (Fiaz et al., 2023b). En quinua, aunque las diferencias en capacidad antioxidante no alcanzaron significancia estadística, la tendencia ascendente en respuesta a concentraciones crecientes de Ciprofloxacina pone de manifiesto una adaptación funcional al estrés inducido por este compuesto (X. Chen et al., 2024).

Por otro lado, no se descarta que la exposición a concentraciones constantes de CIP mediante riego genere un efecto de hormesis en la quinua. Este fenómeno, lejos de causar daño, podría estimular un aumento en la actividad antioxidante de la planta. La presencia de CIP parece inducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que desencadena una respuesta adaptativa en la quinua mediante el incremento de polifenoles, esenciales para contrarrestar el estrés oxidativo (Mamani Ramos et al., 2024; Ramos et al., 2023b). Esto se refleja en los niveles estabilizados de polifenoles totales y en la capacidad antioxidante observada, incluso con mayores concentraciones de CIP. Además, las diferentes dosis de CIP aplicadas al suelo no causaron cambios significativos en la morfología de la quinua, como la altura del tallo o la longitud radicular, lo que sugiere que esta planta podría ser considerada una especie adecuada para la fitorremediación de contaminantes emergentes.

CONCLUSIONES

1. El uso de la quinua presenta la capacidad de absorber positivamente las concentraciones de CIP en el suelo. A pesar de ello, con nuestros resultados no podemos concluir estadísticamente. Sin embargo, se puede evidenciar el porcentaje de sorción que ejerce el suelo sobre el Ciprofloxacina, llevando a adsorberse hasta más del 90 %.
2. La quinua demuestra una eficiente capacidad de acumulación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($P < 0.05$). Los tratamientos T3 (0.61 ug/g) y T4 (0.67 ug/g) registraron las concentraciones más altas del antibiótico en los tejidos aéreos, lo que evidencia la habilidad de esta planta para translocar y almacenar Ciprofloxacina desde el suelo hacia las partes superiores. Estos hallazgos respaldan el potencial de la quinua como una especie adecuada para movilizar contaminantes hacia tejidos no subterráneos, destacando su utilidad en estrategias de fitorremediación.
3. En cuanto a la acumulación de Ciprofloxacina en la biomasa radicular, los resultados muestran limitaciones significativas en la absorción por parte de las raíces, atribuibles a la fuerte interacción del compuesto con el suelo. Este fenómeno sugiere que el proceso de adsorción de la Ciprofloxacina en las partículas del suelo disminuye su biodisponibilidad, afectando negativamente al almacenamiento del contaminante en los tejidos radiculares.
4. La exposición de la quinua a la Ciprofloxacina provoca un aumento en los niveles de polifenoles totales y en su capacidad antioxidante, indicadores asociados a la activación de mecanismos de defensa frente al estrés oxidativo. Esta respuesta metabólica refleja que la planta implementa estrategias adaptativas frente a la presencia del contaminante. Sin embargo, aunque esta activación defensiva contribuye a su capacidad de remediación, también puede generar impactos negativos en el desarrollo y crecimiento de la planta debido a la carga metabólica asociada a dichos procesos.

RECOMENDACIONES

1. Dado que el suelo presenta una alta capacidad para retener ciprofloxacina, se sugiere investigar el uso de enmiendas orgánicas, compuestos quelantes u otros aditivos que modifiquen las interacciones del antibiótico con las partículas del suelo. De esta manera, se incrementaría la fracción biodisponible del contaminante, facilitando su absorción por la quinua y optimizando el proceso de fitorremediación..
2. Considerando que la mayor acumulación del antibiótico se presenta en las partes aéreas de la planta, se recomienda orientar las estrategias de remediación hacia la cosecha, tratamiento y disposición adecuada de dicha biomasa. Esto permitiría reducir significativamente la carga contaminante del ecosistema y asegurar una gestión ambientalmente segura del material vegetal contaminado.
3. Frente a los efectos del estrés oxidativo causado por la exposición a ciprofloxacina, se recomienda implementar un monitoreo continuo de indicadores fisiológicos y bioquímicos de la quinua, como el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante. Este control contribuirá a preservar el estado sanitario de la planta y a ajustar las condiciones de cultivo para mantener su capacidad de remediación sin comprometer su desarrollo.
4. Para ampliar la validez de estos resultados, es recomendable realizar ensayos complementarios en suelos con características físico-químicas diversas y bajo condiciones climáticas variadas. Asimismo, se sugiere llevar a cabo estudios a mayor escala, que permitan analizar el comportamiento de la quinua frente a contaminantes farmacéuticos en contextos más cercanos a los escenarios reales de contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghili, S., & Golzary, A. (2023). Greening the earth, healing the soil: A comprehensive life cycle assessment of phytoremediation for heavy metal contamination. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103241. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103241>
- Aguzie, I. O., Oriaku, C. U., Agbo, F. I., Ukwueze, V. O., Asogwa, C. N., Ikele, C. B., Aguzie, I. J., Ossai, N. I., Eyo, J. E., & Nwani, C. D. (2024). Single and mixture exposure to atrazine and ciprofloxacin on *Clarias gariepinus* antioxidant defense status, hepatic condition and immune response. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104523>
- Akash, S., Sivaprakash, B., Rajamohan, N., Govarthan, M., & Elakiya, B. T. (2022). Remediation of pharmaceutical pollutants using graphene-based materials - A review on operating conditions, mechanism and toxicology. *Chemosphere*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135520>
- Alonso Trujillo, J., Alonso Ricardez, A., Valera Mota, M. M., & Cuevas Guajardo, L. (2022). Aprendizaje estadístico basado en niveles de investigación. *Revista Educación*, 454–470. <https://doi.org/10.15517/revedu.v46i1.45425>
- Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (2020). Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. In *Egyptian Journal of Aquatic Research* (Vol. 46, Issue 4, pp. 371–376). National Institute of Oceanography and Fisheries. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>
- Bonanomi, G., De Filippis, F., Zotti, M., Idbella, M., Cesarano, G., Al-Rowaily, S., & Abd-ElGawad, A. (2020). Repeated applications of organic amendments promote beneficial microbiota, improve soil fertility and increase crop yield. *Applied Soil Ecology*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103714>
- Browne, S., Bhatia, S., Sarkar, N., & Kaushik, M. (2023). Antibiotic-resistant bacteria and antibiotic-resistant genes in agriculture: a rising alarm for future. In *Degradation of*

- Antibiotics and Antibiotic-Resistant Bacteria From Various Sources* (pp. 247–274). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99866-6.00017-9>
- Calcio Gaudino, E., Canova, E., Liu, P., Wu, Z., & Cravotto, G. (2021). Degradation of antibiotics in wastewater: New advances in cavitation treatments. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26030617>
- Canales, C. P., Delgado, S., Cáceres-Jensen, L., Buason, A., Kristofersson, D., Urdiales, C., & Antilén, M. (2023). Adsorption kinetics studies of ciprofloxacin in soils derived from volcanic materials by electrochemical approaches and assessment of socio-economic impact on human health. *Chemosphere*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138144>
- Cela-Dablanca, R., Míguez-González, A., Barreiro, A., Rodríguez-López, L., Arias-Estévez, M., Núñez-Delgado, A., Fernández-Sanjurjo, M. J., Castillo-Ramos, V., & Álvarez-Rodríguez, E. (2024). Simultaneous adsorption of amoxicillin and ciprofloxacin on agricultural soils and by-products used as bio-adsorbents: Unraveling the interactions in complex systems. *Environmental Research*, 240, 117535. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.117535>
- Chang, D., Mao, Y., Qiu, W., Wu, Y., & Cai, B. (2023). The Source and Distribution of Tetracycline Antibiotics in China: A Review. *Toxics*, 11(3), 214. <https://doi.org/10.3390/toxics11030214>
- Chan-Quijano, J., Cach-Pérez, M., & López-Mejía, M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. *Revista Forestal Del Perú*, 36(1), 22. <https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1703>
- Chen, J., Liu, S. S., Wu, Q., Huang, W. J., Yang, F., Wang, Y. J., He, L. X., Ying, G. G., Chen, W. L., & Chen, C. E. (2023). Removal, fate, and bioavailability of fluoroquinolone antibiotics in a phytoremediation system with four wetland plants: Combining dynamic DGT and traditional methods. *Science of the Total Environment*, 881. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163464>
- Chen, X., Song, Y., Ling, C., Shen, Y., Zhan, X., & Xing, B. (2024). Fate of emerging antibiotics in soil-plant systems: A case on fluoroquinolones. In *Science of the Total*

- Environment* (Vol. 951). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175487>
- Chung, H. S., Lee, Y. J., Rahman, M. M., Abd El-Aty, A. M., Lee, H. S., Kabir, M. H., Kim, S. W., Park, B. J., Kim, J. E., Hacımüftüoğlu, F., Nahar, N., Shin, H. C., & Shim, J. H. (2017). Uptake of the veterinary antibiotics chlortetracycline, enrofloxacin, and sulphathiazole from soil by radish. *Science of the Total Environment*, 605–606, 322–331. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.231>
- Cui, E., Cui, B., Fan, X., Li, S., & Gao, F. (2021). Ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) intercropping can improve the phytoremediation of antibiotics and antibiotic resistance genes but not heavy metals. *Science of the Total Environment*, 784. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147093>
- Dai, X., Su, C., Chen, Z., Li, X., Lu, P., Qi, Z., Luo, Z., & Chen, M. (2022). Sulfonamide and quinolone antibiotics contaminated wastewater treatment by constructed rapid infiltration: efficiency and microbial community structure. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 542–555. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.03.056>
- Delgadillo, A., & González, C. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*.
- 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>
- Fan, P., Yu, H., Lv, T., Wang, H., Li, D., Tong, C., Wu, Z., Yu, D., & Liu, C. (2024a). Alien emergent aquatic plants develop better ciprofloxacin tolerance and metabolic capacity than one native submerged species. *Science of The Total Environment*, 932, 173030. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.173030>
- Fan, P., Yu, H., Lv, T., Wang, H., Li, D., Tong, C., Wu, Z., Yu, D., & Liu, C. (2024b). Alien emergent aquatic plants develop better ciprofloxacin tolerance and metabolic capacity than one native submerged species. *Science of the Total Environment*, 932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173030>

- Fang, L., Chen, C., Li, S., Ye, P., Shi, Y., Sharma, G., Sarkar, B., Shaheen, S. M., Lee, S. S., Xiao, R., & Chen, X. (2023). A comprehensive and global evaluation of residual antibiotics in agricultural soils: Accumulation, potential ecological risks, and attenuation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262, 115175. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115175>
- Fiaz, M., Ahmed, I., Hassan, S. M. U., Niazi, A. K., Khokhar, M. F., Zeshan, Farooq, M. A., & Arshad, M. (2023a). Antibiotics induced changes in nitrogen metabolism and antioxidative enzymes in mung bean (*Vigna radiata*). *Science of the Total Environment*, 873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162449>
- Fiaz, M., Ahmed, I., Hassan, S. M. U., Niazi, A. K., Khokhar, M. F., Zeshan, Farooq, M. A., & Arshad, M. (2023b). Antibiotics induced changes in nitrogen metabolism and antioxidative enzymes in mung bean (*Vigna radiata*). *Science of the Total Environment*, 873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162449>
- Ghimpețeanu, O. M., Pogurschi, E. N., Popa, D. C., Dragomir, N., Drăgotoiu, T., Mihai, O. D., & Petcu, C. D. (2022). Antibiotic Use in Livestock and Residues in Food—A Public Health Threat: A Review. In *Foods* (Vol. 11, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11101430>
- Gómez, L., Enrique, P., & Castellanos, A. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. www.fao.org/publications/es
- Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E., & Madrid, Y. (2019). Citrus peels waste as a source of value-added compounds: Extraction and quantification of bioactive polyphenols. *Food Chemistry*, 295, 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.136>
- Guo, X., Liu, M., Zhong, H., Li, P., Zhang, C., Wei, D., & Zhao, T. (2020). Potential of *Myriophyllum aquaticum* for phytoremediation of water contaminated with tetracycline antibiotics and copper. *Journal of Environmental Management*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110867>

- Hernández, M. and Hernández, O. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 12(2), 15-28. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>
- Iavicoli, I., Fontana, L., Agathokleous, E., Santocono, C., Russo, F., Vetrani, I., Fedele, M., & Calabrese, E. J. (2021). Hormetic dose responses induced by antibiotics in bacteria: A phantom menace to be thoroughly evaluated to address the environmental risk and tackle the antibiotic resistance phenomenon. *Science of the Total Environment*, 798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149255>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Estado de la población peruana 2020*.
- Jalal, A., Oliveira Junior, J. C. de, Ribeiro, J. S., Fernandes, G. C., Mariano, G. G., Trindade, V. D. R., & Reis, A. R. dos. (2021). Hormesis in plants: Physiological and biochemical responses. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 207). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111225>
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145–154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Khan, K. Y., Ali, B., Zhang, S., Stoffella, P. J., Yuan, S., Xia, Q., Qu, H., Shi, Y., Cui, X., & Guo, Y. (2021). Effects of antibiotics stress on growth variables, ultrastructure, and metabolite pattern of *Brassica rapa* ssp. *chinensis*. *Science of the Total Environment*, 778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146333>
- Krupka, M., Piotrowicz-Cieślak, A. I., & Michalczyk, D. J. (2022). Effects of antibiotics on the photosynthetic apparatus of plants. In *Journal of Plant Interactions* (Vol. 17, Issue 1, pp. 96–104). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17429145.2021.2014579>
- Leng, L., Wei, L., Xiong, Q., Xu, S., Li, W., Lv, S., Lu, Q., Wan, L., Wen, Z., & Zhou, W. (2020). Use of microalgae based technology for the removal of antibiotics from

- wastewater: A review. In *Chemosphere* (Vol. 238). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124680>
- Leonard, A. F. C., Morris, D., Schmitt, H., & Gaze, W. H. (2023). *Natural recreational waters and the risk that exposure to antibiotic resistant bacteria poses to human health*.
- Liu, L., Mi, J., Wang, Y., Zou, Y., Ma, B., Liao, X., Liang, J. B., & Wu, Y. (2018). Different methods of incorporating ciprofloxacin in soil affect microbiome and degradation of ciprofloxacin residue. *Science of the Total Environment*, 619–620, 1673–1681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.133>
- Maldonado, I., Moreno Terrazas, E. G., & Vilca, F. Z. (2022). Application of duckweed (*Lemna* sp.) and water fern (*Azolla* sp.) in the removal of pharmaceutical residues in water: State of art focus on antibiotics. In *Science of the Total Environment* (Vol. 838). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156565>
- Maldonado, I., Moreno Terrazas, E. G., Mamani, J. M., & Vilca, F. Z. (2023a). Removal of tetracycline and chloramphenicol through constructed wetlands: Roles of plants, substrates, and microbial fuel cells. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100982>
- Maldonado, I., Moreno Terrazas, E. G., Mamani, J. M., & Vilca, F. Z. (2023b). Removal of tetracycline and chloramphenicol through constructed wetlands: Roles of plants, substrates, and microbial fuel cells. *Results in Engineering*, 17(November 2022), 100982. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100982>
- Maldonado, I., Vega Quispe, A. P., Merma Chacca, D., & Zirena Vilca, F. (2022). Optimization of the elimination of antibiotics by *Lemna gibba* and *Azolla filiculoides* using response surface methodology (RSM). *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1228. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2022.940971/BIBTEX>
- Mamani Ramos, Y., Huamán Castilla, N. L., Colque Ayma, E. J., Mamani Condori, N., Campos Quiróz, C. N., & Vilca, F. Z. (2024). Divergent effects of azithromycin on purple corn (*Zea mays* L.) cultivation: Impact on biomass and antioxidant

- compounds. *PloS One*, *19*(8), e0307548.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307548>
- Marques, R. Z., Wistuba, N., Brito, J. C. M., Bernardoni, V., Rocha, D. C., & Gomes, M. P. (2021). Crop irrigation (soybean, bean, and corn) with enrofloxacin-contaminated water leads to yield reductions and antibiotic accumulation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *216*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112193>
- Masoud, A. M. N., Alfarrar, A., & Sorlini, S. (2022). Constructed Wetlands as a Solution for Sustainable Sanitation: A Comprehensive Review on Integrating Climate Change Resilience and Circular Economy. In *Water (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w14203232>
- Maurya, A., Sharma, D., Partap, M., Kumar, R., & Bhargava, B. (2023). Microbially-assisted phytoremediation toward air pollutants: Current trends and future directions. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 31). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103140>
- Mu, H., Xue, S., Sun, Q., Shi, J., Zhang, D., Wang, D., & Wei, J. (2023). Research Progress of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.): Nutritional Components, Technological Treatment, and Application. In *Foods* (Vol. 12, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods12102087>
- Mustafa, A. M., Angeloni, S., Abouelenein, D., Acquaticci, L., Xiao, J., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S., & Caprioli, G. (2022). A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity. *Food Chemistry*, *367*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130743>
- Nguyen, L. M., Nguyen, N. T. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. T., Nguyen, D. T. C., & Tran, T. Van. (2022). Occurrence, toxicity and adsorptive removal of the chloramphenicol antibiotic in water: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 20, Issue 3, pp. 1929–1963). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01416-x>

- Nkoh, J. N., Shang, C., Okeke, E. S., Ejeromedoghene, O., Oderinde, O., Etafo, N. O., Mgbachidinma, C. L., Bakare, O. C., & Meugang, E. F. (2024). Antibiotics soil-solution chemistry: A review of environmental behavior and uptake and transformation by plants. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 354). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120312>
- Nolberto, T., & Campos, T. (2020). New variety of “quinoa” *Chenopodium quinoa* Willd. (Chenopodiaceae) for the northern highlands of Peru with outstanding agronomic and commercial characteristics. *Arnaldoa*, 27(3), 751–768. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.273.27306>
- Ohore, O. E., Qin, Z., Sanganyado, E., Wang, Y., Jiao, X., Liu, W., & Wang, Z. (2022). Ecological impact of antibiotics on bioremediation performance of constructed wetlands: Microbial and plant dynamics, and potential antibiotic resistance genes hotspots. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 424). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127495>
- Pawłowska, B., & Biczak, R. (2024). Drugs in the environment - Impact on plants: A review. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 111). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104557>
- Pedan, V., Fischer, N., & Rohn, S. (2016). An online NP-HPLC-DPPH method for the determination of the antioxidant activity of condensed polyphenols in cocoa. *Food Research International*, 89, 890–900. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.030>
- Peris-Vicente, J., Peris-García, E., Albiol-Chiva, J., Durgbanshi, A., Ochoa-Aranda, E., Carda-Broch, S., Bose, D., & Esteve-Romero, J. (2022). Liquid chromatography, a valuable tool in the determination of antibiotics in biological, food and environmental samples. In *Microchemical Journal* (Vol. 177). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107309>
- Pu, Q., Wang, H. T., Pan, T., Li, H., & Su, J. Q. (2020). Enhanced removal of ciprofloxacin and reduction of antibiotic resistance genes by earthworm *Metaphire vulgaris* in soil. *Science of the Total Environment*, 742. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140409>

- Qi, X., Zhao, R., Zhang, X., Ru, S., & Xiong, J. Q. (2025). Multiomics unraveled that gibberellin signaling underlies adaptation of rice to ciprofloxacin stress: Calling for concerns on the adverse effects of pharmaceutical residues in water during agricultural irrigations. *Journal of Hazardous Materials*, 485. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136818>
- Ramos, A. Q., Ramos, Y. M., Camaticona, N. M. Q., Tejada, J. L. R., Quiróz, C. N. C., Maldonado, I., Huamán-Castilla, N. L., & Vilca, F. Z. (2023a). Deciphering Ciprofloxacin's Impact on Growth Attributes and Antioxidant Compounds in Pasankalla Quinoa. *Agronomy*, 13(7), 1738. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071738>
- Ramos, A. Q., Ramos, Y. M., Camaticona, N. M. Q., Tejada, J. L. R., Quiróz, C. N. C., Maldonado, I., Huamán-Castilla, N. L., & Vilca, F. Z. (2023b). Deciphering Ciprofloxacin's Impact on Growth Attributes and Antioxidant Compounds in Pasankalla Quinoa. *Agronomy*, 13(7), 1738. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071738>
- Rocha, D. C., da Silva Rocha, C., Tavares, D. S., de Moraes Calado, S. L., & Gomes, M. P. (2021). Veterinary antibiotics and plant physiology: An overview. In *Science of the Total Environment* (Vol. 767). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144902>
- Shah, S. W. A., Rehman, M. ur, Tauseef, M., Islam, E., Hayat, A., Iqbal, S., Arslan, M., & Afzal, M. (2022). Ciprofloxacin Removal from Aqueous Media Using Floating Treatment Wetlands Supported by Immobilized Bacteria. *Sustainability*, 14(21), 14216. <https://doi.org/10.3390/su142114216>
- Sharma, U., Rawat, D., Mukherjee, P., Farooqi, F., Mishra, V., & Sharma, R. S. (2023). Ecological life strategies of microbes in response to antibiotics as a driving factor in soils. In *Science of the Total Environment* (Vol. 854). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158791>
- Shawver, S., Wepking, C., Ishii, S., Strickland, M. S., & Badgley, B. D. (2021). Application of manure from cattle administered antibiotics has sustained multi-year

- impacts on soil resistome and microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108252>
- Shurbaji, S., Huong, P. T., & Altahtamouni, T. M. (2021). Review on the visible light photocatalysis for the decomposition of ciprofloxacin, norfloxacin, tetracyclines, and sulfonamides antibiotics in wastewater. In *Catalysts* (Vol. 11, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal11040437>
- Sidhu, H., O'Connor, G., & Kruse, J. (2019). Plant toxicity and accumulation of biosolids-borne ciprofloxacin and azithromycin. *Science of The Total Environment*, 648, 1219–1226. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.218>
- Sivaranjani, S., & Panwar, V. P. (2023). Soil nutrient dynamics under mountainous landscape: issues and challenges. In *Understanding Soils of Mountainous Landscapes* (pp. 131–149). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95925-4.00004-2>
- Sofo, A., Fausto, C., Mininni, A. N., Dichio, B., & Lucini, L. (2019). Soil management type differentially modulates the metabolomic profile of olive xylem sap. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 707–714. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.036>
- Sun, C., Hu, E., Liu, S., Wen, L., Yang, F., & Li, M. (2022). Spatial distribution and risk assessment of certain antibiotics in 51 urban wastewater treatment plants in the transition zone between North and South China. *Journal of Hazardous Materials*, 437. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129307>
- Tian, M., He, X., Feng, Y., Wang, W., Chen, H., Gong, M., Liu, D., Clarke, J. L., & Van Eerde, A. (2021). Pollution by antibiotics and antimicrobial resistance in live stock and poultry manure in china, and countermeasures. *Antibiotics*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050539>
- Turcios, A. E., & Papenbrock, J. (2019). Biofiltration of the antibacterial drug sulfamethazine by the species *Chenopodium quinoa* and its further biodegradation through anaerobic digestion. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 75, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.022>

- Vancsik, A., Szabó, L., Bauer, L., Pirger, Z., Karlik, M., Kondor, A. C., Jakab, G., & Szalai, Z. (2024). Impact of land use-induced soil heterogeneity on the adsorption of fluoroquinolone antibiotics, tested on organic matter pools. *Journal of Hazardous Materials*, 474. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134704>
- Wang, X., Jing, J., Zhou, M., & Dewil, R. (2023). Recent advances in H₂O₂-based advanced oxidation processes for removal of antibiotics from wastewater. *Chinese Chemical Letters*, 34(3). <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2022.06.044>
- Wu, R., Fang, J., Yang, Y., Liu, L., Liu, H., & Du, S. (2025). Transmission pathways and intrinsic mechanisms of antibiotic resistance genes in soil-plant systems: A review. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 37). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103985>
- Yan, Y., Pengmao, Y., Xu, X., Zhang, L., Wang, G., Jin, Q., & Chen, L. (2020). Migration of antibiotic ciprofloxacin during phytoremediation of contaminated water and identification of transformation products. *Aquatic Toxicology*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105374>
- Zhao, H. M., Huang, H. B., Du, H., Lin, J., Xiang, L., Li, Y. W., Cai, Q. Y., Li, H., Mo, C. H., Liu, J. S., Wong, M. H., & Zhou, D. M. (2018). Intraspecific variability of ciprofloxacin accumulation, tolerance, and metabolism in Chinese flowering cabbage (*Brassica parachinensis*). *Journal of Hazardous Materials*, 349, 252–261. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2018.01.015>
- Zheng, X., He, X., Peng, H., Wen, J., & Lv, S. (2021). Efficient adsorption of ciprofloxacin using Ga₂S₃/S-modified biochar via the high-temperature sulfurization. *Bioresource Technology*, 334. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125238>
- Gómez, N., Romero, A., & Gonzales, M. (2024). Control estadístico y la gestión por procesos en una institución educativa privada de huancayo. *Llimpi*, 4(1), 10-19. <https://doi.org/10.54943/lree.v4i1.389>
- Loor, A. and Briones, V. (2024). La planificación presupuestaria y su incidencia en la gestión institucional de la coordinación zonal 4 de la secretaria de educación

superior, ciencia, tecnología e innovación período 2022.. Revista Científica Multidisciplinar G-Nerando, 5(2). <https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i2.356>

ANEXOS

Matriz de consistencia

Tabla 9

Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
“Evaluación de la eficiencia de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> willd.) como especie fitorremediadora de suelos contaminados con KG en Pacocha – Ilo, 2023.	Problema General ¿Cómo es la eficiencia de fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina con la especie quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en Pacocha-Ilo, 2023?	Objetivo General Evaluar la eficiencia de fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina con la especie quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.), en Pacocha-Ilo, 2023.	Hipótesis General La fitorremediación de suelo contaminado de Ciprofloxacina es eficiente con la especie quinua en Pacocha-Ilo.	Variables dependientes -Concentración del antibiótico Ciprofloxacina en el suelo Variable independiente -Contenido de Ciprofloxacina en suelo -Contenido de Ciprofloxacina en biomasa aérea -Contenido de Ciprofloxacina en biomasa radicular -Contenido de compuestos fenólicos en la quinua	-Presencia de Ciprofloxacina en suelo -Presencia de Ciprofloxacina en biomasa aérea -Presencia de Ciprofloxacina en biomasa radicular -Presencia de compuestos fenólicos en la quinua	La metodología utilizada en la extracción fue descrita por (Eggen et al., 2011)
	Problema Especifico	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas			

<p>-¿Cómo la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) disminuye la concentración de Ciprofloxacina en el suelo?</p>	<p>- Evidenciar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora disminuye la concentración de Ciprofloxacina en el suelo.</p>	<p>- El uso de la quinua tiene efecto positivo a la disminución a la concentración de Ciprofloxacina en el suelo.</p>
<p>-¿Cómo la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) como especie fitorremediadora, incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea?</p>	<p>- Demostrar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea.</p>	<p>- El uso de la quinua incrementa la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa aérea.</p>
<p>-¿Cómo la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) como especie fitorremediadora, aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular?</p>	<p>- Demostrar si el uso de la quinua como especie fitorremediadora aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular.</p>	<p>- El uso de la quinua aumenta la fijación de Ciprofloxacina en su biomasa radicular.</p>
<p>-¿La presencia de Ciprofloxacina en la quinua cultivada en suelo contaminado, tiene un incremento en los niveles de estrés (polifenoles) en planta?</p>	<p>- Analizar si la quinua cultivada en suelo contaminado con Ciprofloxacina, incrementa los niveles de estrés (polifenoles) en planta.</p>	<p>- La quinua cultivada en suelo contaminado con Ciprofloxacina, incrementa los niveles de estrés (polifenoles) en planta.</p>

Propiedades físicas de la quinua

Tabla 10

Efecto a las propiedades fisiológicas de la quinua

PROPIEDADES FISICAS DE LA QUINUA	Tratamientos	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	PROMEDIO	MEDIANA	DS	CV	P VALOR
BIOMASA AEREA	crt	37,84	79,55	49,276	42,67	17,11	34,73	0,85 > 0,05
	1	37,84	53,35	46,32	48,38	5,96	12,86	
	10	36,17	46,13	40,32	40,2	3,92	9,73	
BIOMASA RADICULAR	100	31,34	43,22	38,526	41,35	5,34	13,86	0,90 > 0,05
	crt	3,556	2,24	4,23	3,65	0,81	22,89	
	1	4	2,5	5,29	4,19	1,11	27,68	
DIAMETRO DE TALLO	10	3,166	1,8	4,24	3,15	0,949	29,99	0,95 > 0,05
	100	3,414	2,52	3,9	3,65	0,593	17,391	
	crt	0,45	0,7	0,6	0,65	0,1	16,67	
LONGITUD DE TALLO	1	0,5	0,7	0,65	0,7	0,086	13,32	0,99 > 0,05
	10	0,4	0,75	0,594	0,65	0,16	26,85	
	100	0,4	0,65	0,54	0,55	0,096	17,81	
LONGITUD DE TALLO	crt	1,16	1,35	1,264	1,3	0,097	7,68	0,99 > 0,05
	1	1,28	1,32	1,298	1,3	0,017	1,38	
	10	1,22	1,35	1,27	1,25	0,0514	4,053	
	100	1,02	1,34	1,192	1,24	0,124	10,38	

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra el efecto de ciprofloxacino en las propiedades fisiológicas de la quinua.

Validación del método Ciprofloxacina

Tabla 11

Resultados del proceso de validación para biomasa aérea y radicular de quinua por UHPLC DAD

Compuesto	T.R (min)	Concentración (ug/g)	Area (mU A)	Ecuación de la recta	Cod. De muestra	Area de la recuperación	% de recuperación	Prom. % Rec	Media (de la recu d forti)	D.S (de la recu de la forti)	CV %
Ciprofloxacina (CIP)	7.685	0,5	12,58		R1	287,102	85,3	84	5,3	0,08	1,5
		1	45,35	74,174390	R2	287,44	85,3				
		2	93,63	7 X –	R3	279,397	83,2				
		4	238,7	29,09698	R4	284,734	84,6				
		8	584,8	R =	R5	274,036	81,7				
		1	0,99446								

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la validación de la extracción de ciprofloxacina en biomasa aérea y radicular.

Tabla 12

Ajuste en el equipo para el método analítico de Ciprofloxacina en biomasa radicular y aéreo de quinua

Ajustes en el equipo UHPLC-DAD	
Columna	Columna C18 (Octadecilsilano) 1,9 um, 120 Infinitylab poroshell 120
Presión Max	600 bar
Flujo	0,250 mL/min
Temperatura	35°C
Fases móviles	A (Acetonitrilo + acd 0,1 %) - B (Agua + acd 0.1 %)
Longitud de onda	270 nm
Inyeccion	0,8 uL
Tiempo de corrida	12 min

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra el ajuste en el equipo para el método analítico de Ciprofloxacina en biomasa radicular y aéreo de quinua.

Tabla 13

Programación de fase móvil en el cromatógrafo

Programación de fases móviles		
Tiempo	% Canal A (ACN + acd 0.1 %)	% Canal B (H2O + acd 0.1 %)
0	5	95
1	20	80
10	10	90

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la programación de fase móvil en el cromatógrafo

Tabla 14

Determinación del límite de detección

Antibiótico	Signal Noise	Conc. Min	LD (ug/g)
Ciprofloxacina	8,9	0,5	0,16853933

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la determinación del límite de detección

Tabla 15*Determinación del límite de cuantificación*

Antibiótico	Signal Noise	Conc. Min	LD (ug/g)	LQ (ug/g)
Ciprofloxacina	8,9	0,5	0,16	0,55

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la determinación del límite de cuantificación.**Tabla 16***Coefficiente de correlacion de curva de calibración*

Compuesto	Coefficiente de correlación (R)
Ciprofloxacina	0,99446

Nota: L. Chura 2025, Esta tabla muestra la coeficiente de correlacion de curva de calibración.

Resultados de parámetros físico químicos de suelo

INFORME DE ENSAYO N°		LAB24-AS-1769			
DATOS GENERALES					
SOLICITANTE	:	LUZ SATOMI CHURALLANOS			
TELÉFONO	:	986673010			
E-MAIL	:	Karinticona0@gmail.com			
DOMICILIO LEGAL	:	ASOC. VILLA 28 DE JULIO A-12			
RUC / DNI	:	75667152			
DEPARTAMENTO	:	MOQUEGUA			
PROVINCIA	:	ILO			
DISTRITO	:	ILO			
CASERIO O ANEXO	:	NO ESPECIFICA			
CODIGO DE MUESTRA / PARCELA	:	MP-01			
MUESTREADO POR	:	YESSICA TICONA MIRANDA			
MATRIZ	:	SUELO			
PRESENTACION	:	HOJ SA PI ÁSTICA			
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	:	martes, 9 de Julio de 2024			
FECHA DE ANALISIS	:	lunes, 19 de Julio de 2027			
AREA DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	:	AF, AQ, AFQ y EEA			
RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS,					
CARACTERIZACIÓN					
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D.	CATEGORÍAS	RESULTADOS	RANGOS
pH	EPA Method 9045 D Rev.4	pH	-	7.48	LIGERAMENTE ALCALINO
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	Método ISO 11265: 1994 (E) / Cor 1:1996	dS/m	-	0.69	BAJO
NITROGENO	Cálculo	%	-	0.07	BAJO
FÓSFORO	Método: Olsen Modificado	ppm	-	22.20	ALTO
POTASIO	Método: Extracción con Acetato de Amonio	ppm	-	1052.47	ALTO
CARBONO	Cálculo	%	-	0.84	BAJO
MATERIA ORGÁNICA	Método: Walkley y Black	%	-	1.44	BAJO
CLASE TEXTURAL	Método: Boyoucos	%	Arena	40.79	Franco
		%	Limo	39.86	
		%	Arcilla	19.35	
CIC	Método: Saturación con Acetato de Amonio	meq/100g	-	15.93	BAJO
CATIONES CAMBIABLES	Cálculo	meq/100g	Ca+2	10.35	ALTO
	Cálculo	meq/100g	Mg+2	2.90	ALTO
	Cálculo	meq/100g	K+	2.51	ALTO
	Cálculo	meq/100g	Na+	0.17	BAJO
	Cálculo	meq/100g	Al+3+H+	0.00	BAJO
Suma de cationes	Cálculo	meq/100g	-	15.93	-
Suma de bases	Cálculo	meq/100g	-	15.93	-
% Sat. de bases	Cálculo	%	-	100	ALTO
U.D.= Unidad de Medida. AF=Área de Físicas. AQ= Área química. AFQ= Área de Análisis Físicoquímico. EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica					
OBSERVACIONES		SIN OBSERVACIONES			

Panel fotográfico**Figura 20**

Homogenización de suelo contaminado con ciprofloxacina



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la homogenización de suelo contaminado con ciprofloxacina

Figura 21

Pesado de suelo contaminado en el laboratorio de contaminantes orgánicos



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el pesado de sustrato en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 22

Ubicación de los maceteros completamente al azar en el área del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra los maceteros ubicados completamente al azar en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 23

Control del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el desarrollo de la planta en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 24

Control de plagas y humedad del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el control del experimento en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 25

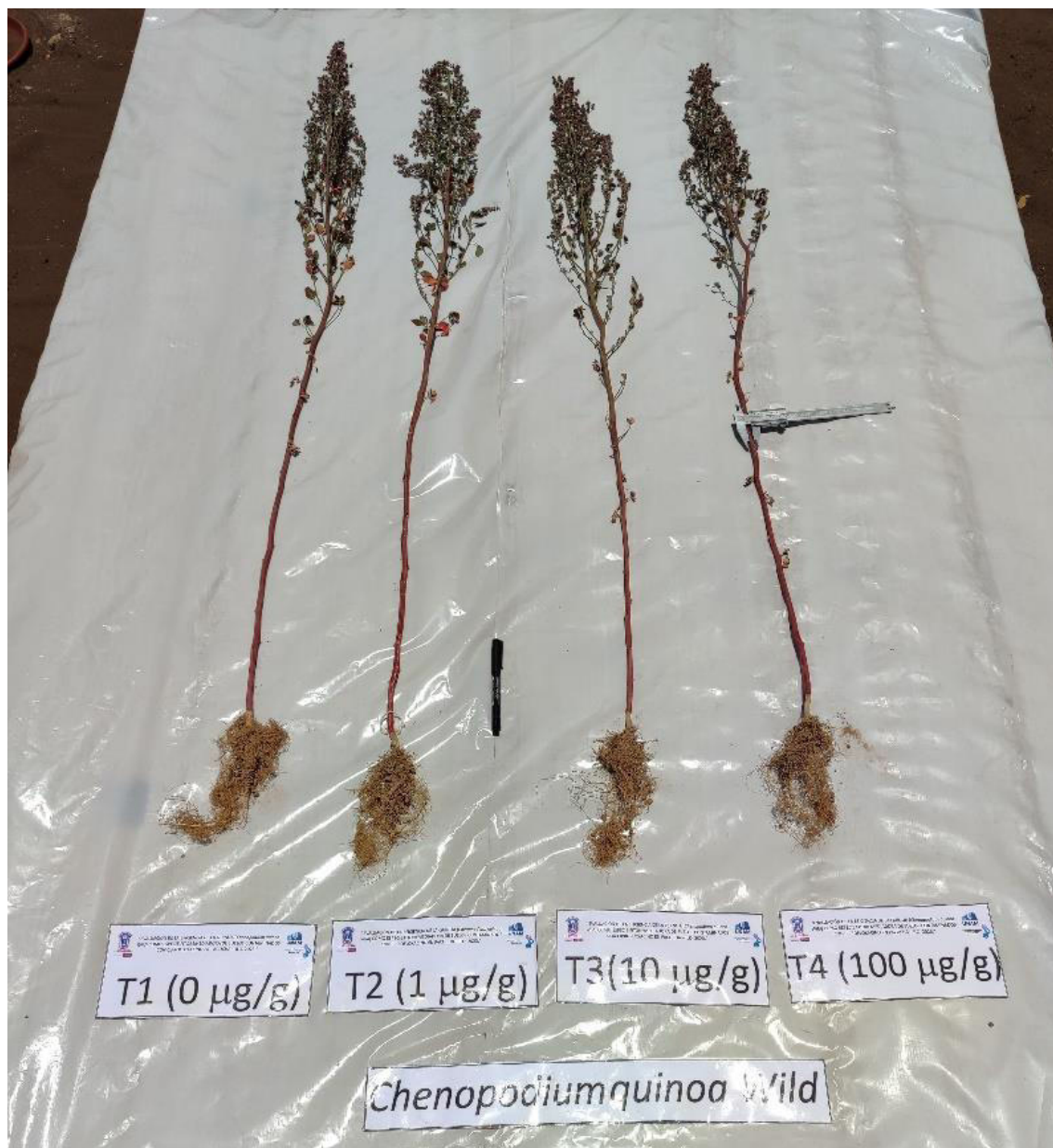
Control del desarrollo y crecimiento del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el desarrollo del experimento en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 26

Comparación del desarrollo de los tratamientos del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la evaluación de los experimentos en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 27

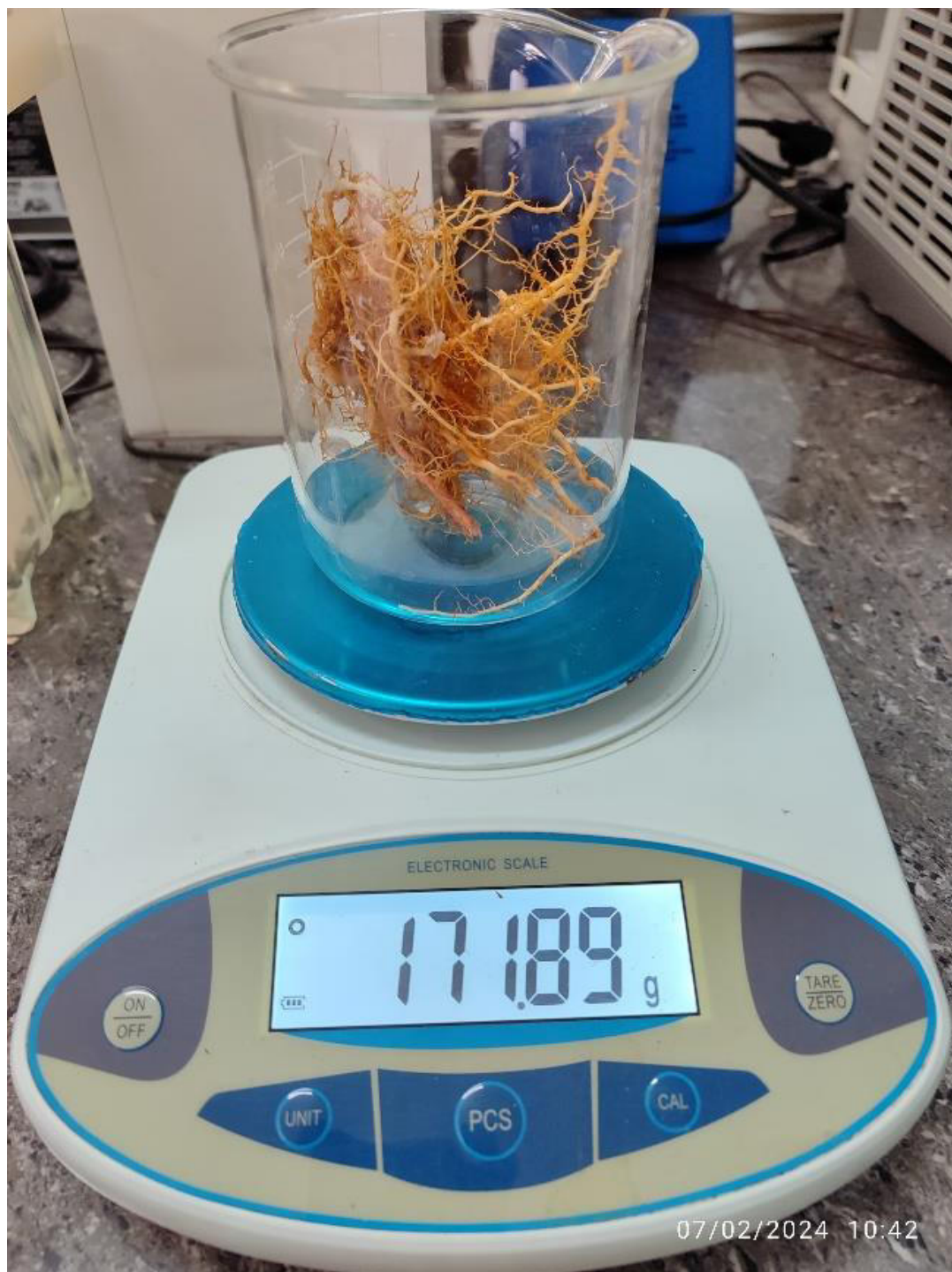
Medición del diámetro del tallo de los experimentos



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la evaluación del diámetro de la quinua en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 28

Pesado de la biomasa radicular



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el pesado de la biomasa radicular de la quinua en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 29

Pesado de biomasa aérea de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el peso de la biomasa aérea la quinua en la Universidad Nacional de Moquegua.

Figura 30

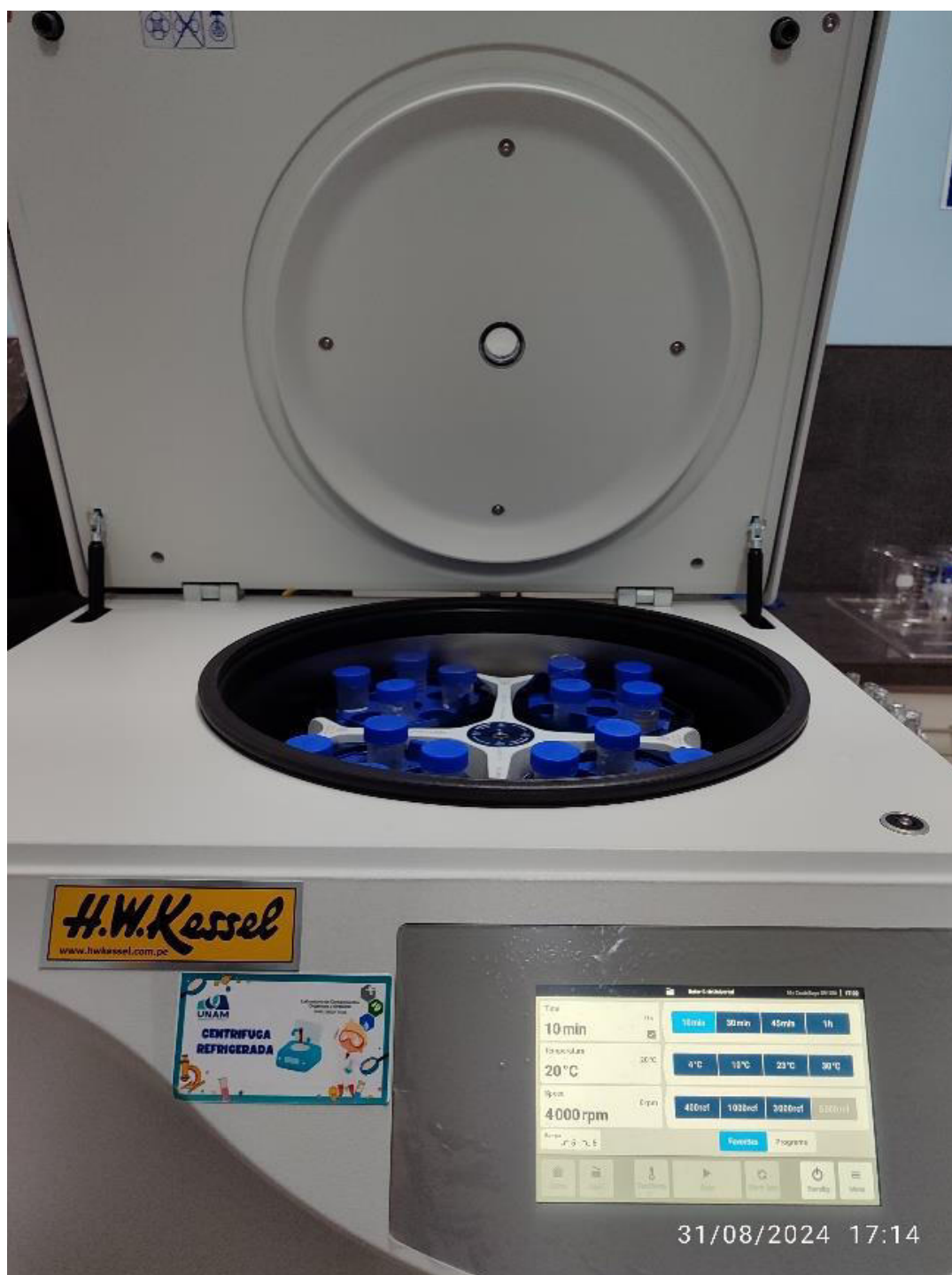
Preparación de las soluciones en el laboratorio



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la preparación de soluciones en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 31

Centrifugación de las muestras aéreas en el laboratorio



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el centrifugado de las muestras en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 32

Separación de la fase sólida de la muestra aérea de la quinua



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la separación del líquido del sólido de la muestra en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 33

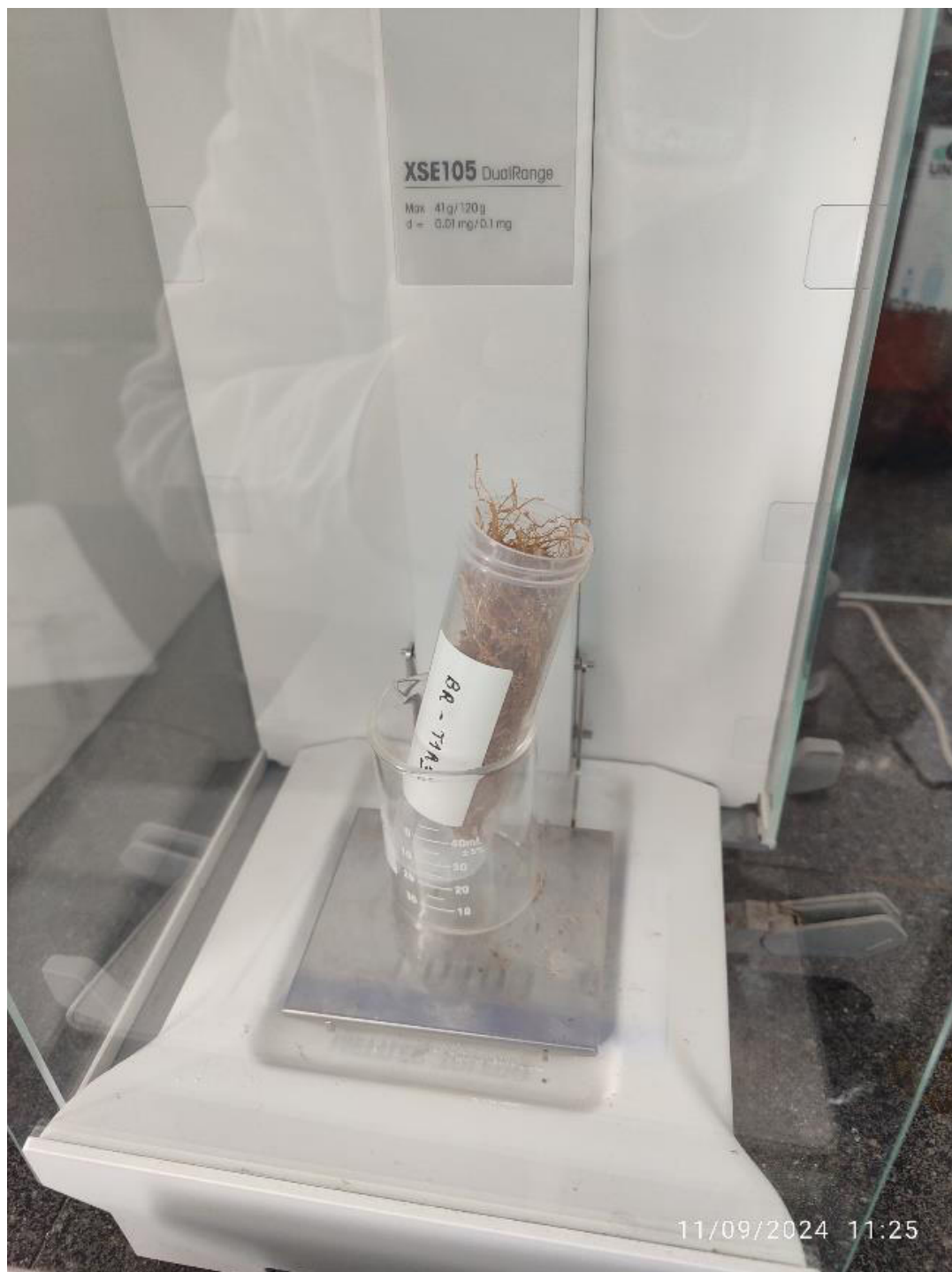
Segunda centrifugación de la muestra de biomasa aérea



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la segunda centrifugación de las muestras en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 34

Pesado de la biomasa radicular en el laboratorio



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el pesado de la biomasa aérea en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 35

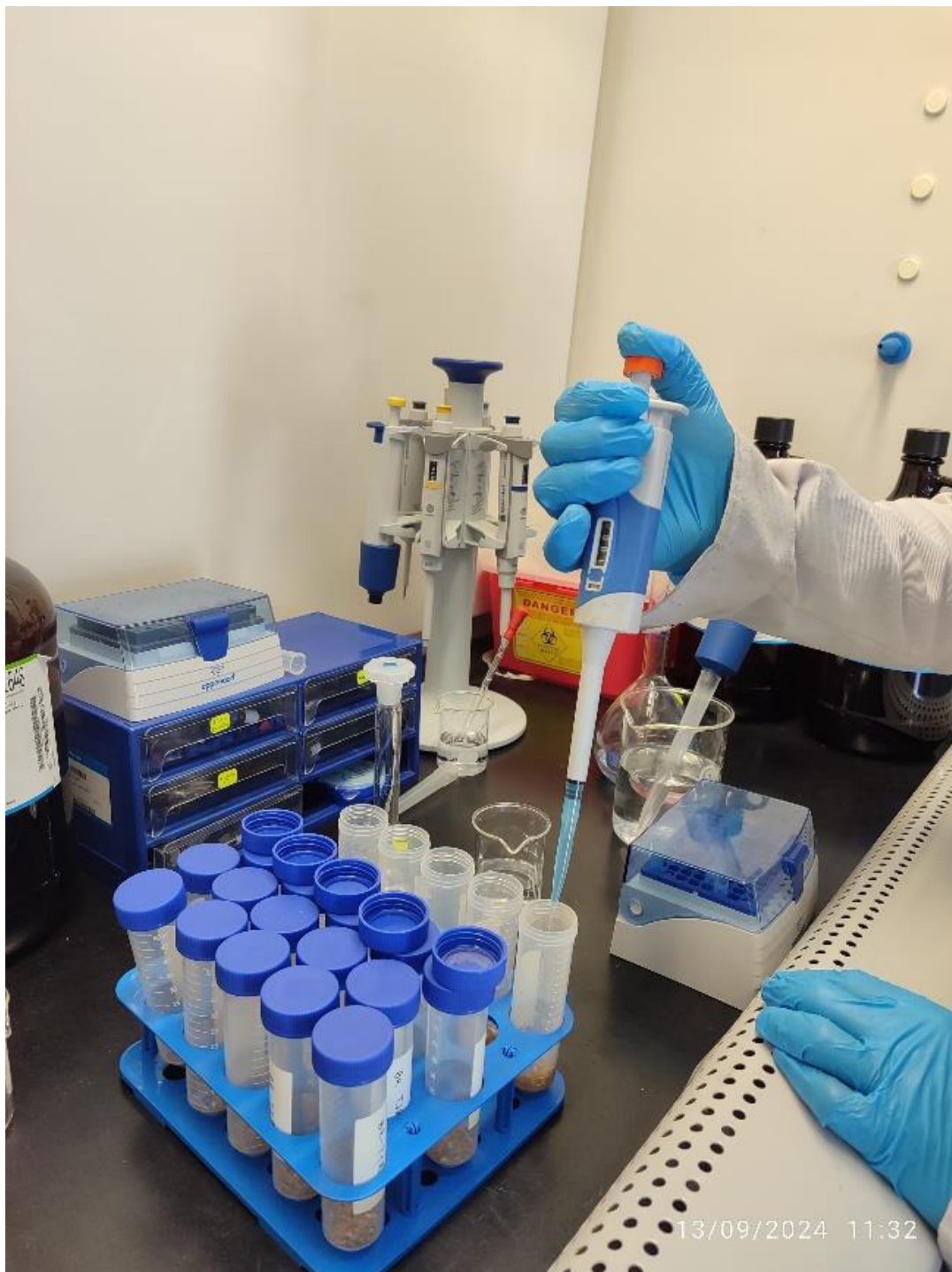
Trituración de la biomasa radicular en el mortero



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la trituración de la biomasa radicular en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 36

Adición de la solución a la biomasa radicular



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la adición de la solución a la biomasa radicular en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 37

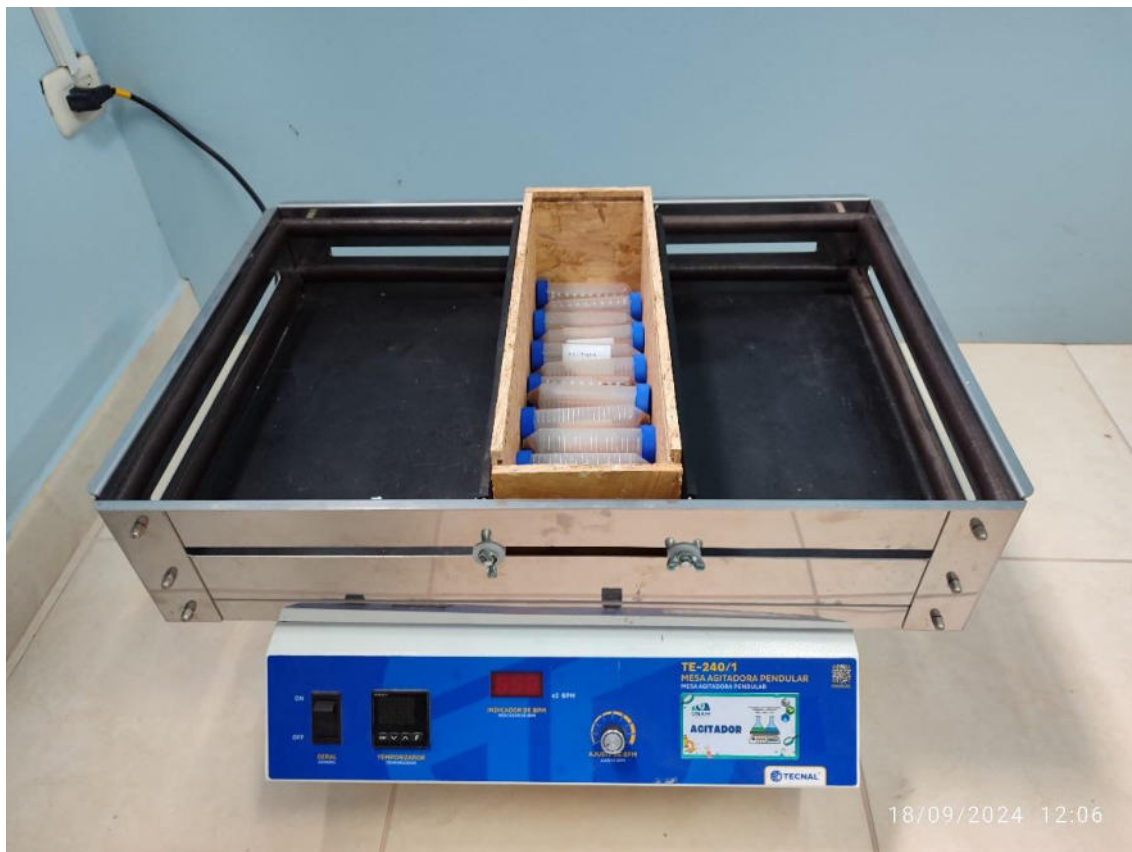
Muestra de suelo del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el suelo del experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 38

Muestra de suelo en el agitador



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el suelo en el agitador en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 39

Muestras de biomasa aérea del experimento



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la biomasa aérea del experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 40

Adición de una porción de biomasa aérea al equipo de balanza de humedad



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la adición de una porción de biomasa aérea al equipo de balanza de humedad en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 41

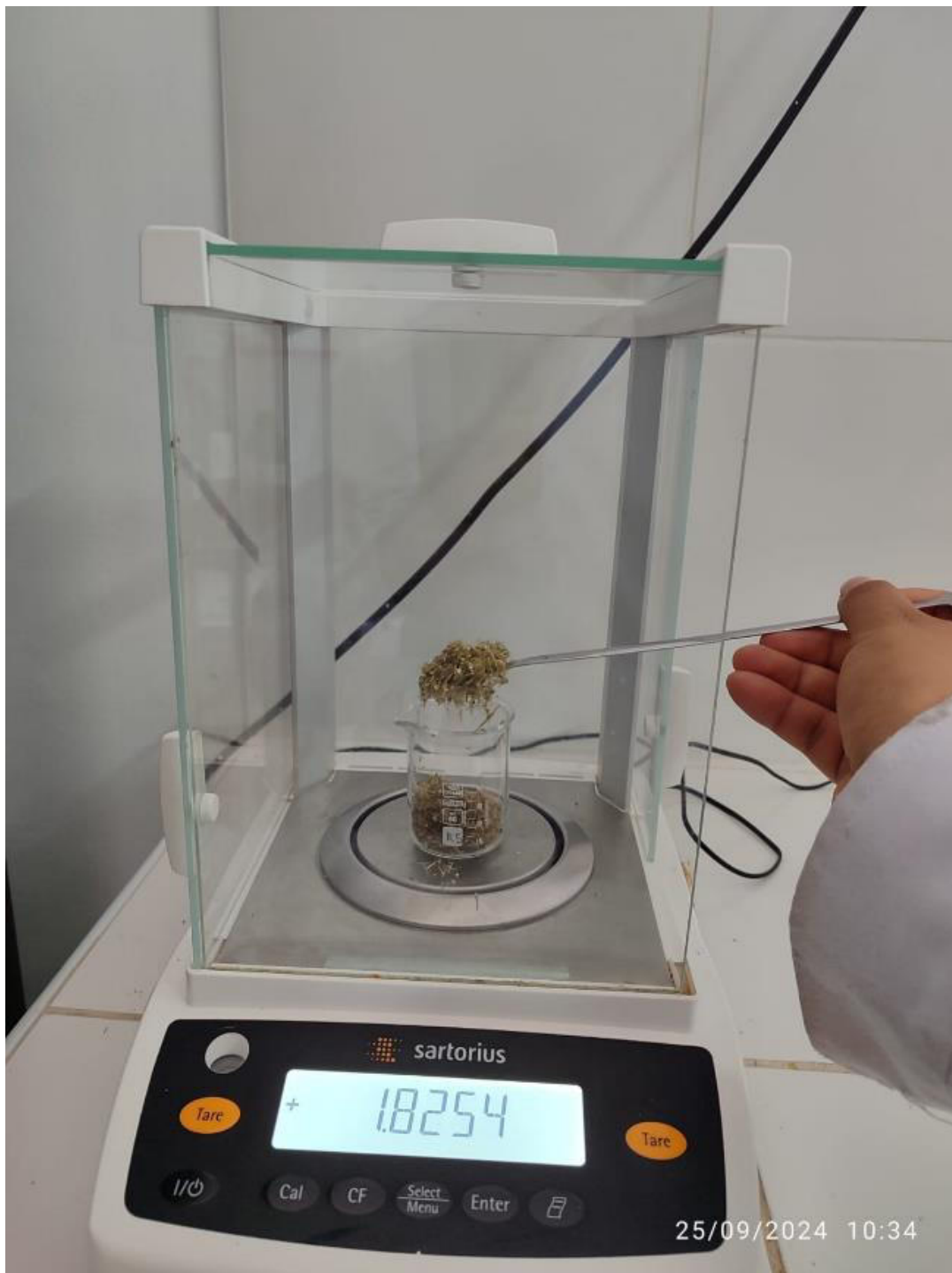
Balanza de humedad



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la balanza de humedad en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 42

Pesado de biomasa aérea en la balanza



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra pesado de biomasa aérea en la balanza en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 43*Agitador magnético*

Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra el agitador magnético en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 44

Medición de la temperatura de la solución



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la medición de la temperatura de la solución en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 45

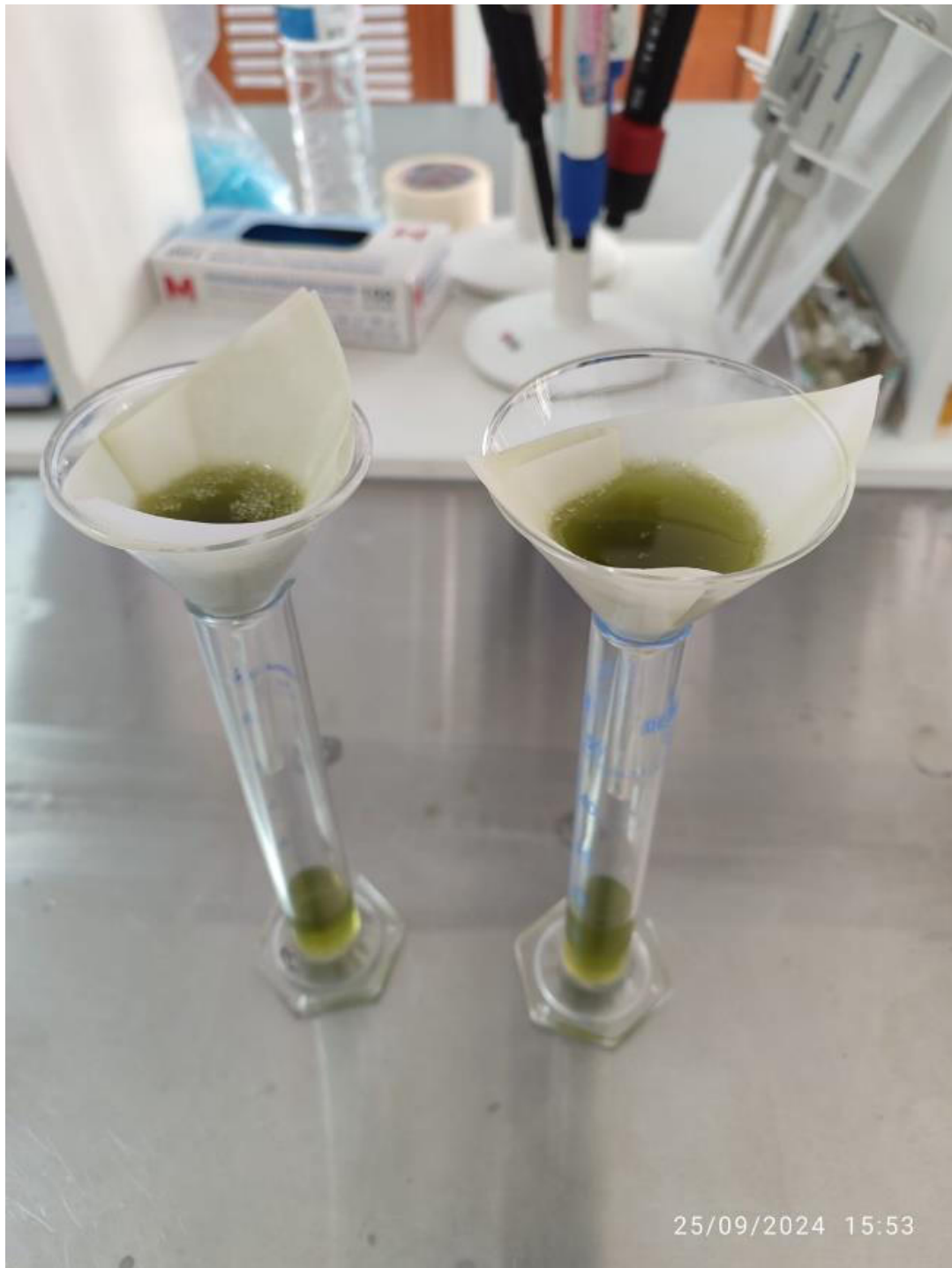
Centrifugación de las muestras de biomasa aérea



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la centrifugación de las muestras de biomasa aérea en la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 46

Filtración del extracto de la biomasa aérea



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la filtración del extracto de la biomasa aérea en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 47

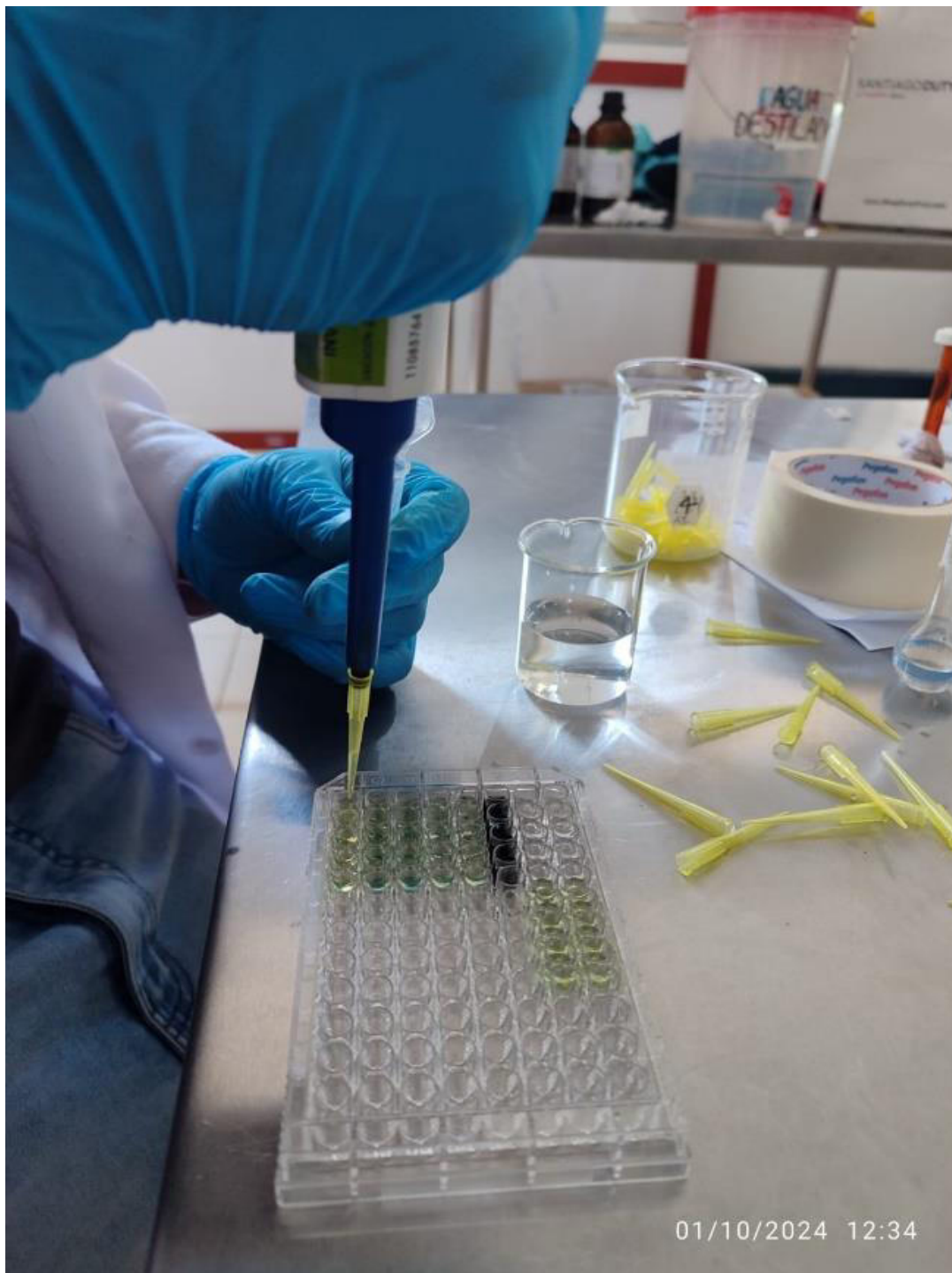
Agitación de los tubos eppendorf con las soluciones



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la agitación de los tubos eppendorf con las soluciones en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua

Figura 48

Adición de las soluciones a las placas



Nota: L. Chura 2025, Esta figura muestra la adición de las soluciones a las placas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Moquegua